

SCUOLA INTERNAZIONALE SUPERIORE DI STUDI AVANZATI

MASTER IN COMUNICAZIONE DELLA SCIENZA

“FRANCO PRATTICO”

Anno Accademico 2014/2015



**LA PARTECIPAZIONE DEGLI ESPERTI ALLA
PRODUZIONE COLLETTIVA DI CONOSCENZA:
IL CASO WIKIPEDIA**

Tesi di:

Rita Occhipinti

Relatore:

Nico Pitrelli

Trieste, Febbraio 2015

Indice

Introduzione.....	3
1. Capitolo 1 - Saggezza della folla: produzione e fruizione di conoscenza 2.0.....	5
1.1. Gli scienziati e il web 2.0.....	6
1.1.1 Conoscenza e/è rete.....	6
1.1.2 Scienza e condivisione.....	7
1.2. L'enciclopedia di tutti: Wikipedia.....	7
1.2.1 Wikipedia in numeri	7
1.2.2 Genesi di una rivoluzione: Nupedia.....	8
1.2.3 Benvenuta Wikipedia: il wiki come sistema editoriale.....	11
1.3. Let's make a wiki: come funziona Wikipedia?.....	14
1.3.1 I cinque pilastri.....	14
1.3.2 Le licenze.....	16
1.3.3 Chi, come e perché: gli autori volontari.....	17
1.4. Cooperazione e qualità in Wikipedia.....	18
1.4.1 Is it good?.....	19
1.4.2 ...or bad?.....	20
1.4.3 Esperti e non esperti: la livella?.....	20
2. Capitolo 2 - Qualità vs partecipazione degli esperti: ipotesi e metodi.23.....	23
2.1. Variabili e fasi della ricerca: metodo generale.....	24
2.1.1 Attendibilità vs contributo esperto: le pagine scientifiche.....	24
2.1.2 Obiettivo e metodo.....	25
2.2. Una griglia di osservazione per l'analisi testuale.....	26
2.2.1 La griglia: contenuto e chiarezza espositiva.....	26

2.2.2 Correttezza del contenuto e controllo incrociato con altre fonti.....	27
2.2.3 La chiarezza espositiva.....	29
2.3. Profiling degli editors: strumenti e strategie.....	30
2.3.1 Anonimi ma non troppo.....	30
2.3.2 Discussioni e profili.....	31
2.3.3 Strumenti online e filtri.....	32

3. Capitolo 3 - Un campione sotto analisi: relatività ristretta e velocità superluminale.....35

3.1. Relatività ristretta: analisi della qualità.....	36
3.1.1 Sostanza: qualità del contenuto.....	36
3.1.2 Forma: facilità di consultazione e valore didattico.....	39
3.2. Relatività ristretta: profiling autori principali.....	40
3.2.1 Statistiche generali.....	41
3.2.2 Autori al setaccio.....	42
3.2.3 Profiling: quanti esperti?.....	43
3.3. Velocità superluminale: analisi della qualità.....	45
3.3.1 Sostanza: qualità del contenuto.....	46
3.3.2 Forma: facilità di consultazione e valore didattico.....	49
3.4. Velocità superluminale: profiling autori principali.....	50
3.4.1 Statistiche generali.....	50
3.4.2 Autori al setaccio.....	52
3.4.3 Profiling: quanti esperti?.....	52

Conclusioni.....56

Ringraziamenti.....59

Bibliografia.....60

Allegati.....63

A - Wikipedia mission (da Wikipedia documents) / B- Wikipedia founding principles /C - I siti fratelli / D - Relatività Ristretta (in data 16 nov 2014)

E - Velocità Superluminale (in data 16 nov 2014)

Introduzione

Questo lavoro di tesi nasce da una profonda riflessione sull'evoluzione della produzione e condivisione di conoscenza con il web, sulle interazioni tra sapere esperto e sapere prodotto dal basso, e sull'attendibilità dell'informazione scientifica in rete. Il focus della ricerca è la partecipazione del sapere esperto al web 2.0. La rete sta minando le demarcazioni tra i ruoli nella produzione di conoscenza, e sta modificando la conoscenza stessa. Vasti e sempre più numerosi sono gli esempi di produzione collettiva di conoscenza, le commistioni e le collaborazioni tra amatori ed esperti certificati, tra detentori del sapere laico e istituzioni. La rete consente, sponsorizza e indirizza la produzione di sapere dal basso e Wikipedia è, forse, il caso più eclatante.

Quali sono le modalità di partecipazione degli esperti alle pagine scientifiche di Wikipedia? Come si può analizzare e valutare la loro partecipazione?

Obiettivo della tesi è *l'analisi indiretta della partecipazione degli scienziati alle voci scientifiche di Wikipedia*. L'analisi avviene con metodi *quantitativi* e *qualitativi*. Due sono le variabili osservate su un campione: l'attendibilità delle informazioni scientifiche e la partecipazione degli esperti.

La prima viene studiata con una analisi testuale, fatta con una griglia di osservazione e rigoroso controllo incrociato con altre fonti. La seconda con un *profiling*, fatto attraverso tools online e una precisa strategia per identificare gli autori principali di una voce.

La combinazione tra queste due variabili innesca ulteriori riflessioni, e apre nuovi scenari da interpretare.

Capitolo 1

La saggezza della folla: produzione e fruizione di conoscenza 2.0

Il caso Wikipedia



1.1 Gli scienziati e il web 2.0

*Quando la conoscenza entra a far parte di una rete,
la persona più intelligente della stanza non è
la persona che tiene la lezione davanti a noi,
né la saggezza collettiva delle persone presenti.
La persona più intelligente della stanza è la stanza stessa.¹*

David Weinberger

1.1.1 - Conoscenza e/è rete

Potrebbe sembrare l'eterna disputa tra forma e sostanza, oppure quella tra progresso e conservazione. La produzione e la condivisione di informazioni non aveva mai conosciuto un mezzo così pervasivo, efficace e potente come internet. Questa innovazione non è più e solo (o forse non lo è mai stata) l'evoluzione di un mezzo. Ciò che appare irreversibilmente cambiato è il concetto stesso di conoscenza. Al di là della rappresentazione romantica del genio solitario, la produzione di sapere è un processo collaborativo. La rete amplifica enormemente le possibilità: ci informiamo, comunichiamo, risolviamo problemi seguendo link nella rete. Centinaia di link ogni giorno. Incrociamo i link seguiti dagli altri e scambiamo con loro informazioni, siano essi nostri collaboratori o illustri sconosciuti. Nell'atto del conoscere, la nostra mente esplora la rete in modo non lineare. La conoscenza non si serve della rete. È la rete. C'è di più. La rete è democratica: rende sfuocate le tradizionali definizioni di ruoli e sembra smentire l'equazione tra la conoscenza da una parte, e, dall'altra, gli esperti riconosciuti dalle istituzioni tradizionali del sapere. Diventano permeabili le barriere tra redattori e autori, tra esperti e non esperti e una produzione di sapere dal basso è possibile, qui e ora.

¹ David Weinberger, La stanza intelligente - Codice (2012)

1.1.2 - Scienza e condivisione

Robert Merton l'aveva chiamato *comunitarismo*², il principio secondo cui la scienza è patrimonio dell'umanità. Con la rete, secondo lo scienziato Michael Nielsen, la scienza sta vivendo una nuova e radicale rivoluzione scientifica: "stiamo reinventando la scoperta"³. Internet ha radicalmente cambiato non solo il modo in cui la scienza viene comunicata, ma il modo in cui viene fatta. La condivisione, che è principio fondante della comunità scientifica e della sua attività, trova nel web l'infrastruttura con cui risuonare. Dalla citizen science alle piattaforme collaborative, dai social network di scienziati alla trasparenza sui lavori in corso, sono moltissimi gli esempi di esperienze e progetti in cui la condivisione scientifica si serve della rete/è rete. Ma se si pensa alla collaborazione online, non sono certo *Mendeley* o *Academia*⁴ a balzare in mente. È Wikipedia il caso emblematico di produzione e circolazione della conoscenza, non solo scientifica. È Wikipedia la più grande e capillare piattaforma di collaborazione per la produzione collettiva di sapere. Ha senso chiedersi: come interagisce la comunità scientifica, che è rete, con Wikipedia?

1.2 L'enciclopedia di tutti: Wikipedia

*Immaginate un mondo in cui chiunque possa avere
libero accesso a tutto il patrimonio della conoscenza umana.
Questo è il nostro scopo.*⁵

Jimmy Wales, fondatore di Wikipedia

1.2.1 Wikipedia in numeri

Wikipedia è un'enciclopedia multilingue, redatta da autori volontari e sottoposta a libera licenza. Nel 2008 entra nel Guinness dei primati come

² Robert Merton (1910-2003), sociologo della scienza, statunitense. Codifica l'etica scientifica nell'acronimo CUDOS: Comunitarismo, Universalismo, Disinteresse, Originalità e Scetticismo.

³ Michael Nielsen, *Le nuove vie della scoperta scientifica*, Einaudi (2012)

⁴ Mendeley e Academia sono due social network di scienziati in cui vengono condivisi i preprint. Piattaforme collaborative e di scambio.

⁵ A.Lih, *The Wikipedia Revolution* - Codice(2010), prefazione.

enciclopedia più grande del mondo, rispetto a qualunque metrica: numero di voci, numero di pagine, numero delle versioni in lingue diverse, o pesantezza del file di una ipotetica versione cartacea. Nel 2006 Wales è tra le 100 persone più influenti dell'anno secondo il *Times*.

Sesto sito più visitato al mondo, dopo dieci anni dal lancio ne esistono 40 versioni in 40 lingue diverse. Oggi esistono ne 288 versioni. 60 milioni di accessi al giorno. A gennaio 2013 ha 24 milioni di voci e 38 milioni di utenti registrati⁶. Tre milioni le voci in lingua inglese, 800 mila in tedesco e più di 500 mila in italiano. La portata della versione inglese del sito supera quella di *New York Times*, *Los Angeles Times* e *The Wall street Journal* messe insieme⁷. Il fenomeno ha interessato e interessa filosofi, epistemologi, scienziati, sociologi, informatici, archivisti, letterati e accademici di ogni colore. La letteratura scientifica sul sito cresce esponenzialmente.

1.2.2 - Genesi di una rivoluzione: Nupedia

Jimmy Wales, detto Jimbo, è un imprenditore americano, con una formazione nel campo dell'economia e della finanza, molto interessato alle potenzialità del web e alla cultura digitale. Ne discute online in gruppi già dai tempi dell'Università, con una rete acerba e un grande fermento. Gli interessano le potenzialità culturali del web e gli aspetti sociologici. Si inserisce in gruppi di filosofi e sociologi e lì "incontra" il filosofo statunitense Larry Sanger che diventerà il primo redattore capo e co-fondatore di Wikipedia.

⁶ <http://www.alexa.com/siteinfo/wikipedia.org>

⁷ Numero di indirizzi IP distinti che si collegano al sito nella durata di un giorno

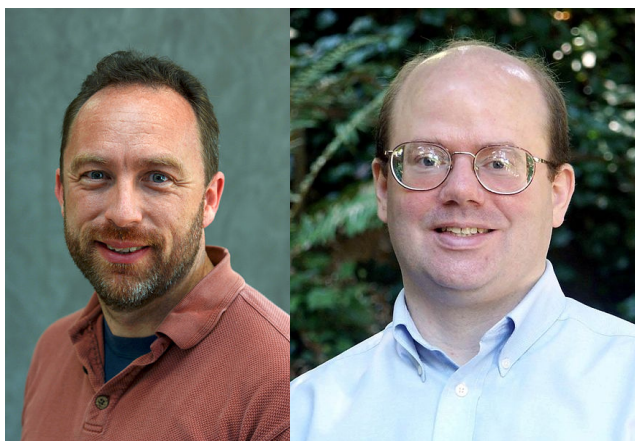


fig.1 - Jimbo Wales e Larry Sanger

Era il mese di marzo del 2000 e si chiamava *Nupedia*. Era il progetto di un'enciclopedia libera sul web molto distante, nelle intenzioni, da quella radicale onnicomprensiva enciclopedia gestita e redatta da volontari che conosciamo. Nupedia era a scopo di lucro e si basava su un rigido processo di controllo e produzione: aveva un redattore capo per ogni sezione e una squadra selezionata di redattori accreditati nel mondo accademico con il compito di gestire e controllare gli autori volontari. Un esordio tradizionale, a parte l'uso del web nel processo di lavorazione e produzione e, ovviamente, gli autori volontari.



fig.2 - home page di Nupedia, anno 2000

Il nome era ispirato ai progetti GNU⁸ e il progetto di enciclopedia doveva seguire lo spirito del software open source: chiunque poteva dare il proprio contributo e chiunque poteva copiare e riutilizzare. Raccogliendo i contributi di volontari, sorgeva il problema della parzialità nei contenuti dell'enciclopedia. Come gestire i diversi punti di vista? Occorreva una qualche politica di imparzialità nella procedura di assemblaggio dei contributi. Pur nello spirito open source, Nupedia, al pari delle enciclopedie di tipo tradizionale, avrebbe avuto la supervisione di un gruppo selezionato di esperti. L'idea era costruire un nucleo, una piccola rete di dottori di ricerca, accademici e professionisti della conoscenza, tutti altamente qualificati, che ricoprissero il ruolo di redattori e, all'occorrenza, autori. Le email sarebbero state lo strumento per la comunicazione. Nel contesto di Nupedia, coloro che possono essere chiamati "redattori" possiedono un'autorità maggiore rispetto ai semplici autori. Sulle linee di condotta di Nupedia si legge: "Desideriamo che i redattori siano veri esperti nel loro campo di riferimento e, salvo rare eccezioni, devono tutti possedere il titolo di dottorato". Il titolo di dottorato doveva essere accompagnato da prove formali del prestigio, come l'elenco delle pubblicazioni, la reputazione e la presenza in circoli accademici. Il tutto comunicato via fax.

Ogni autore di Nupedia è volontario, ma il suo contributo è oggetto di revisione e approvazione da parte dei redattori. Gli autori fidelizzati possono ricevere, da parte dei redattori, il compito di scrivere una voce in particolare. Entro l'estate del 2000, il comitato consultivo di Nupedia definisce il processo editoriale di realizzazione delle voci, in sette irrinunciabili passi:

1. Assegnazione dell'incarico
2. Ricerca di un revisore capo
3. Revisione principale del revisore capo
4. Revisione aperta fra pari
5. Correzione principale delle bozze

⁸ GNU sta per General Public License. Si tratta della licenza che si applicava ai primi software liberi. Nel marzo del 1985 Richard Stallman, programmatore e attivista americano per il software libero, scrive il manifesto GNU, che appare sul Dr.Dobb's Journal in cui si sostiene che la condivisione è alla base dello spirito hacker.

6. Correzione aperta delle bozze
7. Approvazione finale e formattazione

Esisteva, in realtà, una fase zero in cui gli autori volontari venivano assegnati alle diverse aree tematiche e avanzavano le loro proposte per inserire una nuova voce nell'enciclopedia. La revisione aperta fra pari era il primo vero assaggio di Wikipedia come la conosciamo: in quella fase il prodotto del lavoro chiuso della coppia autore-revisore capo è sottoposta alla revisione di tutta la comunità che propone eventuali aggiustamenti e modifiche. Due giri di correzione di bozze, uno aperto nuovamente alla comunità completavano il processo, precedendo la formattazione da parte dello staff editoriale e, infine, la pubblicazione del testo.

Un processo che auspicava e garantiva alti standard qualitativi ma troppo lento, lento in modo esasperante. Dopo un anno le voci pubblicate erano circa una ventina e 150 circa intrappolate nello stadio di bozze. Il processo non decollava e non poteva decollare. La trasparenza del processo non bastava a far avvicinare a una procedura così complicata un numero sufficiente di volontari. Mancava la massa critica necessaria. Lo stesso Wales decise di contribuire e anni dopo avrebbe così commentato l'esperienza: "la situazione era angosciante, sembrava di prepararsi per un esame"⁹. Era la fine del 2000, Nupedia era ferma in uno stallo e quello era l'embrione della svolta.

1.2.3 - Benvenuta Wikipedia: il wiki come sistema editoriale.

Non passò molto tempo prima che Nupedia diventasse la prima versione di Wikipedia. Gennaio 2001: Sanger incontra un suo amico programmatore, Ben Kovitz perché cerca una soluzione per l'enciclopedia. Kovitz accenna, per la prima volta, a un sito in cui si era imbattuto e che gli sembrava interessante. Si chiamava *wikiwikiweb* ed era il primo sito editabile dagli utenti. La costruzione e la programmazione di una pagina web è un'operazione piuttosto complessa perché ogni modifica è un intervento in

⁹ J. Wales - *Know it all: can wikipedia conquer expertise?* - The New Yorker, 31 luglio 2006

un pezzo di codice. Il sito wikiwikiweb aveva un tasto "edit": le modifiche avvenivano con una interfaccia user-friendly, all'interno del browser dell'utente, senza che lui dovesse preoccuparsene in termini di codice. Chiunque poteva contribuire alla pagina e in qualunque momento. Il sistema esisteva solo in un ristrettissimo numero di siti, noti agli addetti ai lavori che lo usavano come meccanismo di collaborazione. Il più famoso di questi siti era quello di un programmatore dell'Oregon che avrebbe fatto fare il salto a Nupedia: Ward Cunningham. Sanger discute con Kovitz per ore del sistema wiki: demolire le barriere di accesso incoraggiava a creare, modificare e condividere le informazioni in modo diretto. Cunningham lavorava al software della Apple HyperCard, che permetteva di creare contenuti ipertestuali e che veniva installato in ogni fabbricato a partire dal 1987. Ma probabilmente nessuno, nemmeno alla Apple, ne aveva intuito le reali potenzialità. I web browser ancora non esistevano e quello era l'unico strumento in circolazione in grado di collegare e organizzare dati e informazioni: un utente poteva creare documenti interconnessi in serie, e passare da uno al successivo con un semplice click del mouse. Hypercard era popolare tra i programmatori esperti ma aveva ancora alcuni meccanismi complicati residui da oliare e risolvere prima che potesse diventare uno strumento di largo uso. Le schede erano come "disposte in pila" con una topologia ancora seriale, e per creare un collegamento tra due schede della pila si doveva sempre richiamare la prima. E se un utente avesse voluto creare una nuova scheda e non solo creare un collegamento tra materiale esistente? Con Hypercard non era ancora possibile.

Cunningham modificò, con una manciata di linee di codice, il software in modo che bastasse un click più prolungato per creare un nuovo contenuto, in qualunque punto della pila.

"Conosco qualcosa riguardo quell'argomento lì, premo con l'aiuto del mouse il dito sullo schermo e...boom! Il gioco era fatto: era lì che potevi cominciare a digitare"¹⁰

¹⁰ W.Cunningham, da La rivoluzione di Wikipedia, Codice (2010)

Quella applicazione, modificata così, poteva consentire a ogni utente di modificare il sito che stava visitando. Gli mancava solo il nome giusto e Cunningham si ricordò di una sua vacanza alle Hawaii e della navetta per spostarsi tra un terminal e l'altro. Si chiamava wiki-wiki. Nella lingua locale wiki significava "veloce", e "wiki-wiki" era invece "velocissimo". E wiki fu.



fig.3 - Wiki-wiki bus, Hawaii. Foto di Andrew Laing per Wikipedia

Il sito *wikiwikiweb* di Cunningham, che i frequentatori chiamano "il wiki di Ward", viene lanciato il 25 marzo del 1995¹¹: tutti i visitatori sono invitati a editarlo, a contribuire con le loro conoscenze di ingegneria del software e di programmazione. La crescita del numero di utenti e dei consigli scambiati a un certo punto rese necessario un sistema per tracciare le modifiche, filtrarle, e per confrontare versioni differenti della pagina. Salvare le versioni precedenti stimolava le persone a contribuire perché non temevano che le informazioni precedenti si perdessero. Quel sito era diventato, per i programmatori, un archivio di pezzi di codice commentati¹².

Il 10 gennaio 2001 viene installata su Nupedia l'applicazione software wiki. La raccolta e la condivisione del sapere di Nupedia diventano, finalmente, veloci e Sanger battezza il nuovo sito con il nome Wikipedia. Il concetto di redazione wiki viene formulato per la prima volta nel 1995, Wikipedia viene lanciato 6 anni dopo. Scrive Jimbo Wales: "Come mai il progetto non ha

¹¹Il sito originale si può consultare all'indirizzo: <http://c2.com/cgi/wiki?WikiWikiWeb>

¹² Ward Cunningham stesso iniziò a chiamarlo "Portland pattern repository", vale a dire magazzino dei pattern di Portland.

visto la luce prima? La risposta è che Wikipedia non è affatto un'innovazione tecnologica: è innovazione sociale"¹³. Sanger diffonde a tutta la mailing list un annuncio. Oggetto della mail: "Let's make a wiki".

No, questa non è una proposta indecente. È un'idea per aggiungere un piccolo accessorio a Nupedia. [...]. Ciò che intendiamo è una serie di pagine web aperte, modificabili pubblicamente. Per esempio, potrei iniziare a scrivere una pagina chiamata "Circolarità epistemica" e riportarci tutto ciò che desidero. Chiunque altro (sì, assolutamente chiunque altro) può arrivare ad apportarci a suo piacimento qualunque tipo di modifica. [...]. Il progetto è promosso e portato avanti come risorsa pubblica.¹⁴

Con quella mail inizia Wikipedia.

1.3 Let's make a wiki: come funziona Wikipedia?

*There is a tight community that is actually doing the bulk of editing.
Around a thousand people wrote the world's
largest encyclopedia in four years for free?
Could this really be true?¹⁵*

Aaron Swartz

1.3.1 -I cinque pilastri

Five Pillars. Recita così il codice di condotta di Wikipedia: cinque cardini su cui ruota tutto l'edificio dell'enciclopedia, cinque regole che gli autori volontari sono chiamati, in linea di principio, a conoscere e rispettare.

- Wikipedia è uno *strumento di divulgazione secondario*
Tutti i contenuti devono essere stati pubblicati altrove. In generale ogni enciclopedia raccoglie, condensa e organizza la conoscenza, non la rivela. Esiste solo il *relata refero*. E Wikipedia è e vuole essere una enciclopedia: commenti, riassunti, analisi di informazioni di prima

¹³ A.Lih - The wikipedia revolution, Codice (2010) - prefazione

¹⁴ Larry Sanger, let's make a wiki (-mail) consultato il 5 dicembre 2014:

<http://web.archive.org/web/20030414014355/www.nupedia.com/pipermail/nupedia-1/2001-january/000676.html>

¹⁵ Aaron Swartz, Who writes wikipedia, an open access essay (2006)

mano hanno cittadinanza sul sito, a differenza di rivelazioni originali e studi non pubblicati. Di conseguenza, nella stesura di un articolo si devono riportare come note o in bibliografia le fonti di informazione. Possono esistere voci senza fonti ma il sito lo segnala agli utenti e può, eventualmente, cancellarle.

- *Wikipedia ha un punto di vista neutrale*

Nessuna voce può contenere opinioni, soprattutto di una sola delle parti. Tutte le teorie accreditate devono essere riportate in un modo più imparziale possibile pesando la rilevanza di ognuna in proporzione al supporto delle fonti, che devono essere autorevoli e indipendenti. Le voci devono avere, ogni volta che sia possibile, un respiro mondiale. I temi locali non vanno trattati come se fossero di interesse generale, e viceversa.

- *Wikipedia è libera*

Seguendo le regole di condotta chiunque può cambiare i contenuti del sito, in qualunque momento. La libertà è garantita dalle licenze¹⁶ per la pubblicazione e il riuso del materiale. Ci sono quattro gradi di libertà: i contenuti possono essere copiati, modificati, distribuiti così come sono, distribuiti con le modifiche anche a fini commerciali.

- *Su Wikipedia non si può alterare il consenso*

Le pagine su argomenti controversi vanno redatte auspicando alla neutralità, come abbiamo visto, e questo avviene attraverso discussioni "dietro le quinte" tra gli autori alla ricerca di un compromesso che non sempre è facile da raggiungere. Come ultima possibilità si procede con votazioni online sulla versione del testo da tenere. In questo processo non si può ricorrere a gruppi di amici, per esempio, a sostegno della propria posizione. E tanto meno si può ricorrere a profili multipli. Far apparire un consenso dove in realtà non

¹⁶ Licenza CC BY-SA (Creative commons attribuzione-condivisione) e GNU free documentation license, che vedremo meglio più avanti in questo paragrafo

ci sarebbe è considerato un comportamento grave e si rischia di essere bannati¹⁷ come wikipediani.

- *Wikipedia non ha regole fisse*

L'ultima regola è che le regole non sono fisse. A parte i pilastri inderogabili, le sottocomunità possono darsi regole e organizzarsi con i metodi di lavoro che preferiscono. Il sito è sempre in evoluzione per rispondere alle esigenze in corso. Wikipedia è plastica, è sempre in evoluzione. La comunità di Wikipediani ha in genere una certa tolleranza verso le infrazioni non gravi, soprattutto da parte dei neofiti. E poi, nessun errore è, in linea di principio, irrimediabile. Il motto di Wikipedia è *Be Bold* ("sii audace").

1.3.2 - Le licenze

Le licenze non derogabili sui contenuti del sito sono la *Creative Commons attribuzione-condivisione* (CC BY-SA) e *GNU free documentation license* (GFDL). Chi scrive su Wikipedia non solo dona il proprio testo e, ovviamente, accetta che possa essere modificato. Chi scrive accetta che il suo contributo possa essere riutilizzato per altri prodotti editoriali e non solo, anche di natura commerciale. L'autore deve essere però indicato tra gli autori e tutte le opere derivate devono mantenere la stessa licenza. Ciò implica che Wikipedia possa essere riutilizzata, ma nessuno può apporre ai contenuti, anche se derivati e modificati, un marchio copyright. E nessuno può omettere la provenienza del materiale originario. La licenza libera è uno dei motivi del successo, i termini di traffico, del sito non solo per ragioni intuitive di libertà e immediatezza, ma anche per la conseguente visibilità sui motori di ricerca. Per esempio, l'algoritmo di Google fa scalare le prime posizioni ai siti che hanno molti richiami in altre pagine sul web. La licenza libera di Wikipedia incoraggia una galassia di link altrove rendendo le pagine di Wikipedia

¹⁷ cacciati dalla comunità di autori, detti wikipediani.

collegatissime in internet. Esistono pagine che ne riproducono in toto alcune parti, i siti *mirror*, e che contengono il link alle pagine originali.

1.3.3 - Chi, come e perché: gli autori volontari

Perché contribuire a Wikipedia? Il fenomeno non è passato inosservato per chi compie ricerca sociale e gli articoli accademici in cui, con tecniche differenti, si cerca di dare una risposta a questa domanda, sono moltissimi. Il regno di Wikipedia ricompensa i suoi partecipanti in modi che non hanno controparte nella maggior parte delle imprese o delle aziende del mondo non virtuale. I wikipediani esprimono un senso di conquista, spirito collettivo e benevolenza. Trovano soddisfazione nella facilità di uso dello strumento e lo considerano un mezzo che consente l'espressione delle loro competenze.¹⁸

Gli autori di ogni voce sono registrati nella pagina *Cronologia*, con il nickname e il codice corrispondente all'IP. Si può intuire qualcosa su di loro dalle *discussioni* sulle pagine cui hanno contribuito. Gli utenti sono sconosciuti ma non sono del tutto anonimi e non sono tutti uguali. Il processo di scrittura e redazione non avviene in modo completamente anonimo¹⁹. Ogni pagina contiene la storia delle modifiche e ogni persona che ne fa una può lasciare un commento, un appunto per gli altri, in cui spiega le ragioni del nuovo testo inserito o cambiato. Dalle discussioni possono emergere autori più accreditati, per esperienza o competenza sull'argomento. Quando questo avviene, gli autori ritenuti particolarmente affidabili possono avere in concessione alcune "scorciatoie". per loro gli amministratori possono sbloccare alcune funzionalità sul sito:

- i *rollbacker* possono annullare velocemente le azioni di disturbo
- i *file mover* possono cambiare i nomi alle voci

¹⁸ S. Kuznetsov - Motivation of contributors to wikipedia - ACM SIGCAS Computers and Society journal, vol.36 Issue 2, Article n. 1(2006)

¹⁹ N.Miller - Wikipedia and the disappearing author - ETC a review of general semantics, vol.62 n.1, pp. 37-41 (2005)

- gli *autoverificati* sono autori di lunga esperienza in un certo campo e non finiscono, quando scrivono, negli elenchi dei testi da sottoporre a controllo.

Ci sono poi utenti ancora più speciali, gli amministratori, detti *admin* o *sysop*²⁰. In qualche modo, in Wikipedia *"tutti gli animali sono uguali. Ma alcuni sono più uguali degli altri"*.²¹ La comunità li ha candidati e votati e ha affidato loro un ruolo speciale: nei loro account sono abilitate alcune funzionalità, i "tastini" nel gergo dei Wikipediani. Con i tastini gli amministratori possono interrompere i conflitti tra utenti, possono cancellare file o annullare cancellazioni fatte da altri utenti, bloccare o sbloccare utenti che creano problemi, proteggere le pagine soggette a edit-war²². Ci sono poi amministratori ancora più speciali: i *burocrati* possono assegnare funzioni speciali ad altri utenti, i *check-user* hanno l'autorizzazione a controllare gli IP per scovare eventuali utenze multiple, gli *steward* operano sui progetti internazionali di Wikipedia e collaborano alle nuove funzionalità del software wiki.

1.4 Cooperazione e qualità

*Le persone che leggono Wikipedia si trovano nella posizione di chi usa un bagno pubblico. Potrebbe ovviamente essere sporco, così sapranno che dovranno usarlo con grande attenzione. Oppure potrebbe essere così pulito da illuderli con un falso senso di sicurezza*²³

Robert Mc Henry

²⁰ Sysop è un neologismo sincratico che significa System Operator, cioè operatore di sistema

²¹ G.Orwell, La fattoria degli animali (1947)

²² letteralmente "guerre di modifiche". Le voci controverse son modificate molto frequentemente nel tempo. Un sysop può bloccare gli editing quando viene raggiunto un accettabile grado di neutralità. Quando una pagina è bloccata in alto a destra, invece di "voce" e "modifica" si legge "visualizza sorgente".

²³ Robert Mc Henry, primo redattore Enciclopedia Britannica. Intervista a *The Economist* (Vol. 379, 22 aprile 2006)

1.4.1 - Is it good?

Un gran numero di persone che lavorano insieme per produrre conoscenza non è qualcosa di nuovo. La scienza, la storia e il linguaggio stesso sono il risultato di collaborazioni di massa. Ma adesso è possibile per molte persone, separate da migliaia di chilometri, collaborare su un singolo, definito progetto in un lasso di tempo relativamente breve. Per esempio, una voce di Wikipedia.

Come abbiamo visto, sono moltissimi gli esempi di collaborazioni di successo, nel modo della scienza e della produzione di conoscenza in generale, ma questo basta a concludere che sia sempre così? Ci sono diversi aspetti da considerare se si vuole definire la qualità dell'informazione: accuratezza, completezza, attualità, facilità di comprensione.²⁴ Sono numerosi gli studi e i saggi che hanno analizzato, in varie forme e con vari approcci, questi diversi aspetti, i prodotti e le modalità delle collaborazioni di massa, e le loro eventuali correlazioni.

Per citarne alcuni, *Nature* ha commissionato e pubblicato (Giles, 2005)²⁵ un confronto cieco, fatto da esperti selezionati, tra voci su Wikipedia (versione inglese) e le stesse voci su enciclopedie tradizionali. Voci in campo scientifico, ovviamente. Wikipedia risultava meno affidabile dell'Enciclopedia Britannica solo di un soffio. Un testa a testa, come apparve nel titolo: i prodotti sono paragonabili. Un confronto simile è stato fatto anche con voci nel campo filosofia (G.Bragues, 2007)²⁶, utilizzando come contraltare non l'enciclopedia britannica ma opere autorevoli riconosciute nel campo. Il risultato non è dissimile. Alcuni ricercatori hanno inserito errori plausibili in pagine popolari dell'enciclopedia e hanno controllato quanto tempo passasse prima che arrivasse la correzione. Questo tipo di attività, nel gergo di Wikipedia, viene detto "fare vandalismo"²⁷. A parte casi eccezionali, i

²⁴ Fox, Levitin e Redvan, The notion of data and its quality- Information and processing management, 30, 9-19 (1994)

²⁵ J. Giles, Internet encyclopedias go head to head, *Nature* n. 438, pp. 900-901 (2005)

²⁶ G.Bragues, Wiki-philosophizing in a marketplace of ideas: evaluating wikipedia's entries on seven great minds (2007)

²⁷ vedi <http://en.wikipedia.org/wiki/wikipedia:vandalism>

vandalismi avevano una durata di pochi minuti.²⁸ L'enciclopedia viene usata come fonte di informazione viene perfino citata su atti giudiziari²⁹.

1.4.2 - ...or bad?

Chiunque abbia usato Wikipedia per una ricerca (tutti, certamente tutti) avrà probabilmente notato che, essendo sempre costantemente un prodotto *in itinere*, ci si può imbattere in argomenti per i quali non esiste una trattazione completa³⁰, o non esiste al livello di trattazione voluto. Oppure, al contrario, avrà trovato pagine, per esempio scientifiche, di un livello troppo elevato per le proprie conoscenze o per la finalità richiesta. Wikipedia è una enciclopedia *disomogenea* nel livello di trattazione e nella qualità dell'informazione (intesa in termini di completezza e accuratezza) e questo può influenzare in modo negativo la possibilità di assorbirne conoscenza. La disomogeneità fa emergere anche criticità sul contenuto e i dubbi esistono e resistono. Per esempio, il dipartimento di storia del Middlebury College ha vietato ai propri studenti di citare Wikipedia, di usarla come fonte³¹.

Ci sono stati casi eclatanti che hanno messo a nudo il re. Nel 2005 il giornalista americano John Seigenthaler, scrive un editoriale per *USA Today* dal titolo "A false Wikipedia Biography". Qualcuno aveva modificato la sua biografia su Wikipedia inserendo una calunnia: si accusava il giornalista di essere stato coinvolto nell'omicidio Kennedy. Da giornalista riteneva inaccettabile e denunciava l'assenza di un rigoroso processo editoriale. A cascata, il sito venne attaccato su altri media tradizionali. Fu la prima grande crisi mediatica di Wikipedia e della sua comunità.

1.4.3 - Esperti e non esperti: la livella?

A dire il vero, ci sono molti ragionevoli motivi per dubitare che una significativa porzione di Wikipedia sia accurata. Innanzitutto, chiunque può

²⁸ Viegàs, Wattemberg & Dave, Studying cooperation and conflict between authors with history flow visualizations (2004)

²⁹ N.Cohen, Courts turn to Wikipedia, but selectively, New York Times, 15 novembre 2007

³⁰ Rosenzweig, Can history be open source? Wikipedia and the future of the past, Journal of American history (2006)

³¹ B. Read, wikipedia fights bogus credentials, chronicles of higher education, n. 53

scrivere, e può avvenire che gli autori non abbiano credenziali sufficienti per trattare certi argomenti. Inoltre, i contributi sono anonimi ed è difficile verificare se chi dichiara, in una discussione su Wikipedia, di avere una certa competenza dice il vero oppure no. E poi, in linea di principio, Wikipedia consente a chi non ha competenze specifiche di scrivere. I meccanismi stessi del funzionamento possono far pensare a dell' anti-intellettualismo³². Non è impossibile ma è molto difficile che autori con grande competenza ed esperienza siano riconosciuti ed elevati a ruolo di admin. Nessuno che non sia admin può risolvere una discussione appellandosi alla propria expertise e gli esperti devono lottare esattamente come tutti gli altri in una edit-war. Molti esperti, comprensibilmente, potrebbero non essere incentivati a dare il loro contributo per il semplice fatto che questo può essere modificato o cancellato "dal primo che passa"³³.

Un altro punto dolente riguarda la competizione tra quantità e qualità degli autori volontari. Uno studio³⁴ fatto su un campione di pagine della versione tedesca del sito (Stein&Hess, 2007) ha cercato e trovato una correlazione molto forte tra le voci "*featured*" (vale a dire indicate dalla comunità come particolarmente valide) con la reputazione degli autori nella comunità. Pare che la qualità emerga non solo come prodotto della quantità, come effetto di una massa critica, ma anche con pochi autori d'esperienza. E il compianto Aaron Swartz³⁵, nel saggio del 2006 *Who writes Wikipedia?* espone i risultati di una sua analisi quantitativa su un campione selezionato di voci: "Mi aspettavo di trovare qualcosa di simile alla regola 80-20: l'80% del sito scritto dal 20% degli utenti, ma è molto, molto di più. Oltre il 50% degli editing è fatto dal 7% degli utenti". Migliaia? Decine di migliaia? In ogni caso, alla base della più grande enciclopedia del mondo c'è una piccola - in proporzione - comunità di autori, fatta da una miriade di sottocomunità più piccole di interessati. O forse dovremmo dire di esperti?

³² A. Keen, *Cult of amateur* (2007)

³³ A. Goldman, *Knowledge in a social world*, Oxford University Press (1999)

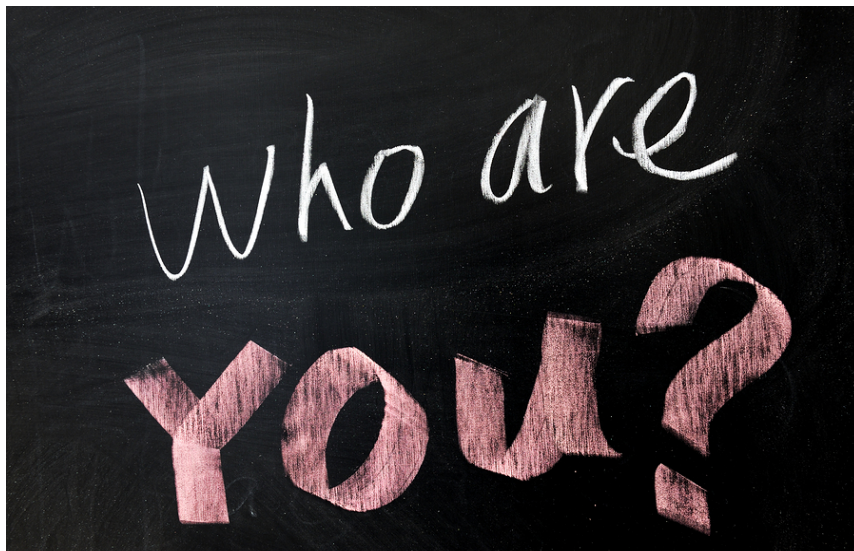
³⁴ Klaus Stein, *Does it matter who contributes? A study on featured articles in the German Wikipedia* (2007)

³⁵ Aaron Swartz è stato programmatore statunitense, attivista, tra i creatori di Open Library. Nel 2011 viene arrestato per aver scaricato 4,8 milioni di articoli scientifici. Rischia fino a 35 anni di carcere e, a soli 26 anni, nel 2013 si suicida.

A questo punto ha senso chiedersi: qual è *la partecipazione degli esperti su Wikipedia?*

Capitolo 2

Qualità vs contributo esperto:
obiettivi, materiali e metodi



2.1 Variabili e fasi della ricerca: metodo generale

Gli strumenti online devono creare un'architettura dell'attenzione che diriga l'attenzione di ogni partecipante verso il problema più adatto a lui.

Michael Nielsen³⁶

2.1.1 - Attendibilità vs contributo esperto: le voci scientifiche

Wikipedia è un caso emblematico di produzione e circolazione di conoscenza: amplifica l'intelligenza collettiva e produce sapere condiviso su scala universale. Non è banale capire se il suo successo sia il risultato della "saggezza della folla" o se è trainato da piccole comunità di autori esperti, mentre la massa critica si occupa di modifiche minori e di voci che potremmo definire pop. Le correlazioni e la prevalenza di un meccanismo oppure l'altro, molto indagate in letteratura, sono estremamente complesse.

Le interpretazioni e i dati raccolti dipendono da numerosi fattori: dal tipo di voce analizzata, da cosa s'intende per "esperto"³⁷, da come viene distribuito il lavoro nelle sottocomunità (assegnato dagli admin o emerso spontaneamente in una discussione), da come classifichiamo e misuriamo le modifiche³⁸, da come intendiamo e valutiamo la qualità delle informazioni.³⁹ L'informazione contenuta in Wikipedia è attendibile? Gli esperti partecipano?

³⁶ M. Nielsen, Le nuove vie della scoperta scientifica (Einaudi, 2012)

³⁷ Gli esperti si possono definire con un criterio quantitativo: per esempio sono "elite users" gli autori che hanno contribuito con più di 10.000 edits (A.Kittur et al., Power of the few vs wisdom of the crowd, 2012). Oppure qualitativo (vedi nota 38)

³⁸ la qualità di una modifica può essere valutata dalla sua "durata", e la qualità di un autore dalla percentuale di editing durevoli sul totale dei suoi contributi (Halfaker et al., A Jury on your peers, 2009)

³⁹ Un modello di valutazione è il sondaggio tra esperti di una disciplina, chiamati a rispondere su una o più pagine campione (T.Chesney, An empirical examination of wikipedia's credibility, 2006). Oppure con metodi quantitativi: mettendo in relazione le parole e gli autori dentro matrici ed equazioni (M.Hu et al., measuring article quality in Wikipedia: models and evaluation, 2007)

Il sistema è così complesso e così variabile per i diversi ambiti del sapere e per i diversi metodi di analisi che non si trova, per ciascuna di queste domande, una risposta univoca in letteratura. Non esiste una risposta che valga per Wikipedia in generale.

Restringiamo quindi il campo e ci chiediamo: quali sono le modalità di partecipazione degli esperti alle pagine scientifiche? Su questioni controverse gli scienziati contribuiscono al dibattito attraverso le pagine wiki? Come possiamo analizzare e valutare la loro partecipazione?

Questo lavoro di tesi si focalizza dunque sulle pagine scientifiche di Wikipedia.

2.1.2 - Obiettivo e metodo

L'Obiettivo è *l'analisi indiretta della partecipazione delle scienziati alle voci scientifiche* della versione italiana di Wikipedia. L'analisi per stimare il contributo esperto viene effettuata su un campione di due voci relative alla disciplina Fisica:

- una voce di valore didattico, su un argomento assodato e condiviso dalla comunità scientifica: *relatività ristretta*
- una voce su un argomento controverso, nello stesso ambito di interesse: *velocità superluminale*

La scelta di Wikipedia italiana non è una scelta campanilistica, ma dettata dal fatto che la letteratura sulle versioni inglese e tedesca (la seconda in dimensioni) è vasta, a differenza della versione italiana. Inoltre, la presunta velocità superluminale dei neutrini⁴⁰, annunciata e poi smentita nel 2011, ha coinvolto in modo particolare l'INFN (Istituto nazionale di Fisica Nucleare) e il MIUR (Ministero per l'Istruzione, L'università e la Ricerca). Una vicenda che infatti, come vedremo, è citata nella voce italiana "velocità superluminale".

⁴⁰ Settembre 2011: l'esperimento OPERA pare aver rivelato neutrini più veloci della luce, in viaggio dal CERN ai laboratori del Gran Sasso. La cosa rimbalza su tutti i media, anche generalisti. Il MIUR compie una gaffe riferendosi, in un comunicato stampa, a un tunnel (esistente) entro il quale avrebbero viaggiato i neutrini. La notizia viene smentita e i dati sbagliati attribuiti a un difetto nell'apparato sperimentale.

Le due variabili da osservare, con metodi qualitativi e quantitativi, sono la qualità dell'informazione contenuta e la partecipazione degli esperti. La loro combinazione e correlazione viene poi esposta e interpretata. La ricerca si svolge in due fasi:

1 - *Analisi testuale* con una griglia di osservazione (variabile 1: qualità dell'informazione)

2 - *Profiling* autori principali (variabile 2: partecipazione esperti)

Le due voci analizzate sono state salvate nella versione del 16 novembre 2014.

2.2 La griglia di osservazione per l'analisi testuale

*Bisogna vedere quel che non si è visto,
vedere di nuovo quel che si è già visto⁴¹.*

José Saramago

2.2.1 - La griglia: contenuto e chiarezza espositiva

Un primo (necessario ma non sufficiente) strumento di valutazione del contributo esperto a una pagina Wikipedia è il controllo della qualità dell'informazione in esso contenuta.

L'analisi testuale viene eseguita attraverso una griglia di osservazione e un rigoroso controllo incrociato con altre fonti: articoli originali, manuali universitari e testi divulgativi riconosciuti come autorevoli. Al di là degli scopi di questo lavoro di tesi, la griglia costruita si propone (e si augura) di poter essere uno strumento e un metodo valido per valutazioni simili, anche in altri ambiti, anche in altri prodotti di diffusione di conoscenza, siano essi sul web o sulla carta.

⁴¹ José Saramago, Cecità (1995)

La griglia di osservazione è stata, di conseguenza, costruita in due parti: la prima per l'analisi del contenuto, la seconda per una valutazione della chiarezza espositiva (*comprehensibility*⁴²).

2.2.2 - Correttezza del contenuto e controllo incrociato con altre fonti

L'analisi testuale attraverso la griglia presuppone la scelta di fonti autorevoli con cui effettuare le verifiche. Naturalmente, nella scelta ricade la fonte primaria: l'articolo originale di Albert Einstein, *l'elettrodinamica dei corpi in moto*, pubblicato su *Annalen Der Physics* nel 1905.⁴³ Altre fonti scelte sono due saggi divulgativi "alti", quello dello stesso Einstein e quello di Wolfgang Pauli e due manuali universitari:

- A.Einstein, *Relatività: esposizione divulgativa* - Bollati Boringhieri (1967)
- W. Pauli, *Teoria della Relatività* - Bollati Boringhieri (2008)
- A.A.Tyapkin, *Relatività speciale* - JacaBook (1993)
- V.Barone, *Relatività, principi e applicazioni* - Bollati Boringhieri (2004)

I punti della griglia sono i seguenti:

1. **Fact Checking scientifico**

Formule, date, valori delle costanti e unità di misura vengono controllate. Si contano sul totale, quelle corrette.

⁴² Fox et al., The notion of data and its quality - Information and processing management n.30, pp. 9-19 (1994)

⁴³ A.Eistein - Elettrodinamica dei corpi in moto -Zur Elektrodynamik bewegter Korper, *Annalen der Physik* 17, 891-921 (1905)

2. **Classificazione dei periodi**

Tutti i periodi, tutte le affermazioni nel testo vengono confrontate con le fonti e inserite in uno dei seguenti cinque gruppi:

- **CF**: affermazione corretta nel contenuto e nella forma
- **Cf**: affermazione corretta ma espressa in modo non ineccepibile da un punto di vista formale⁴⁴
- **PC**: parzialmente corretta. Per esempio, può esserci il testo corretto e la formula/data/numero inesatto, o viceversa.
- **CnR**: corretta ma non rilevante. Affermazioni vere ma non interessanti ai fini della spiegazione.⁴⁵
- **E**: l'affermazione contiene un errore
- **SF**: senza fonte, non ho trovato riscontro con le fonti consultate

Si contano sul totale, per ogni paragrafo e per la voce intera, i pesi relativi di ogni gruppo.

3. **Impianto logico della pagina**

L'impianto generale della pagina è logico (informazioni ordinate in modo consequenziale) o è una collezione di informazioni senza filo logico? Si controllano i passaggi da una frase alla successiva e si contano i pesi relativi.

4. **Bibliografia e collegamenti esterni**

Quantità e tipologia dei rimandi e delle fonti citate: manuali, riviste scientifiche peer-review, riviste divulgative, blog, fonti di parte, fonti sconosciute. Si controlla la relazione con le parti del testo cui si riferiscono: una informazione può essere vera ma rimandare a una fonte poco autorevole, o viceversa.

⁴⁴ Per esempio può esserci un aggettivo non proprio corretto, oppure un refuso, oppure la frase è corretta ma scritta in modo poco chiaro.

⁴⁵ Per esempio, nell'articolo Relatività Ristretta si legge: "Questa formula ($E=mc^2$) è la più famosa della fisica assieme alla seconda legge della dinamica". È vero, ma non è una affermazione indispensabile nel flusso della spiegazione.

5. Colloquio con un esperto

L'analisi fatta viene ulteriormente controllata attraverso il colloquio con un esperto della disciplina (ricercatore/docente universitario). All'esperto viene chiesto di individuare le affermazioni critiche contenute nella pagina, un parere generale e i suoi eventuali suggerimenti per la riscrittura.

6. Consultazione di una Systematic review

In caso di questioni scientifiche controverse, specie per le voci su argomenti di medicina/biologia, si consulta, se ne esiste una specifica sull'argomento, una systematic review. In questo modo è possibile conoscere la posizione maggioritaria della comunità scientifica nella disputa.

2.2.3 - La chiarezza espositiva

La qualità di un testo scritto non risiede solo nella correttezza delle affermazioni contenute, ma anche nella completezza e nella chiarezza espositiva. A maggior ragione questo è vero se si tratta di un'enciclopedia, il cui scopo è raccogliere e organizzare la conoscenza per renderla fruibile. Una enciclopedia deve, per definizione, essere consultabile, deve avere una valenza didattica. Questo controllo viene fatto nella seconda parte, più breve, della griglia di osservazione.

7. Linguaggio

Si controlla e si dà una valutazione qualitativa su lessico e sintassi. A parte i termini propri della disciplina, esistono parole di difficile comprensione? Nel testo si predilige la paratassi o l'ipotassi? Ci sono refusi?

Vengono contati termini di difficile comprensione, i periodi con più di due subordinate e i refusi.

8. Livello

Si dà una valutazione qualitativa del livello del testo, immaginando il target più acculturato in grado di comprenderlo. A difficoltà decrescente, il testo può essere adatto a fisici/studenti di fisica (addetti ai lavori), a studenti di corsi scientifici meno "hard", a studenti di ultimo anno di liceo scientifico, a studenti di altre scuole superiori.

9. Immagini

A questo punto della griglia si cerca di dare una risposta alle seguenti domande: ci sono immagini che aiutino la comprensione? Grafici, tabelle, schematizzazione dei fenomeni esposti? Quante? Si trovano nei punti adatti del testo? Sono utili o esornative?

2.3 Profiling degli autori principali: strumenti e strategie

I'm looking through you, where did you go?

*I thought I knew you, what did I know?*⁴⁶

The Beatles

2.3.1 - Anonimi ma non troppo

Su Wikipedia chiunque può scrivere, purché rispetti i cinque pilastri. Chiunque e su qualsiasi argomento. Il principio di funzionamento nuovo che ha fatto risorgere l'enciclopedia sulle ceneri di Nupedia è stato proprio l'abbattimento dei filtri. È stato credere che una review di pochi esperti, detentori di grandi conoscenze, potesse essere sostituita da quella di moltissimi e sconosciuti, ciascuno portatore di un pezzetto di conoscenza da condividere. Gli autori sono anonimi, conosciamo solo il loro nickname. Ma Wikipedia non è solo una enciclopedia, è una comunità che si parla, si organizza, si divide compiti. Dietro le quinte di una voce su Wikipedia c'è una comunità che interagisce e che per farlo, un po', si rivela.

⁴⁶ I'm looking through you, dal disco *Rubber Soul* (1966)

Un *profiling* degli autori non è impresa impossibile. Wikipedia mette a disposizione una serie di *tools online* con cui è possibile vedere le modifiche, contarle, filtrarle secondo criteri differenti, leggere le discussioni e fare confronti.

Per il profiling incrociamo valutazioni qualitative e filtri quantitativi forniti dallo stesso sito Wikipedia.

2.3.2 - Discussioni e profili

La scrittura e la redazione costantemente in atto di una pagina di Wikipedia avvengono attraverso le pagine di discussione tra gli autori. Quando si modifica una parte del testo esistente è possibile lasciare un messaggio agli altri utenti e autori per giustificarne e spiegarne le ragioni. In alto a sinistra basta cliccare su "*discussione*" per accedere alle conversazioni tra gli autori.

Il sito conserva le vecchie versioni della voce ed è possibile confrontarle prima e dopo l'intervento di un certo autore. Dalle opinioni scambiate è possibile capire se si tratta di un autore improvvisato o dotato di competenze specifiche.

E poi ogni utente può compilare, se vuole, un profilo in cui rivelare volontariamente qualcosa di sé, in cui raccogliere tutti gli edits fatti sul sito. Sul profilo si ha notizia dei progetti editoriali cui è iscritto l'utente (wikiprogetti). Sul profilo sono visibili i premi e le medaglie ricevute su votazione comunità di wikipediani o da un admin: per esempio la medaglia per i 1000 edits o il premio per riportare nel sito fonti accademiche. Wikipedia rende visibile una medaglia nel profilo dell'autore della n-milionesima voce, o quella per aver portato una voce in vetrina (perché molto consultate)[fig.4].



fig.4 - A sinistra il premio per chi usa fonti accademiche, a destra la medaglia per aver avviato la milionesima voce sulla versione italiana di Wikipedia

La strategia prevede di etichettare come esperti/non esperti della disciplina (fisica) gli autori principali della pagina, sulla base di discussioni, cronologia, confronto tra versioni e profilo sul sito. Ma come individuarli?

2.3.3 - Strumenti online e filtri

Esistono numerosi strumenti su Wikipedia per analizzare una voce. È possibile fare confronti tra versioni in lingue diverse e controllare in quante versioni di Wikipedia esiste una voce, controllare le statistiche rispetto alla variabile tempo, esistono diversi tipi di editcounter (per numero, byte) e molti altri. Gli strumenti utilizzati in questo lavoro per il profiling degli autori sono i seguenti:

Cronologia

La pagina cronologia mostra tutte le modifiche alla pagina, dalla più recente alla prima. Per ogni modifica appare una data e un orario, il nickname dell'autore o un codice se non è registrato.

Si può accedere al contributo dell'utente nella discussione di quella pagina o guardare tutti i contributi su Wikipedia. Le modifiche minori (refusi, errori ortografici) sono etichettate con una "m" e possono essere filtrate nella ricerca.

Si può visualizzare il primo contributo e la creazione della pagina, e scegliere di leggere le modifiche in blocchi scelti sulla base di un preciso lasso di tempo o scelti in numero (blocchi da 20, 50, 100, 250, 500 modifiche). Si può andare indietro sulla timeline delle modifiche a blocchi di 50 [fig.5].

Relatività ristretta: cronologia delle modifiche

Visualizza i log relativi a questa pagina.

Naviga nella cronologia

Dall'anno (e precedenti): Dal mese (e precedenti): Filtra per etichetta:

Confronto tra versioni: selezionare le caselle corrispondenti alle versioni desiderate e premere Invio o il pulsante in basso.

Legenda: (corr) = differenze con la versione corrente, (prec) = differenze con la versione precedente, m = modifica minore

Strumenti esterni: [Ricerca nella cronologia](#) • [Statistiche sulla cronologia](#) • [Numero di visite](#)

(ultima | [prima](#)) Vedi (50 più recenti | 50 meno recenti) (20 | 50 | 100 | 250 | 500).

- (corr | prec) ☒ 21:27, 14 set 2014 FrescoBot (Discussione | contributi) m (44 754 byte) (-45) (Bot: *Wikipedia:Specificità dei wikilink*) (annulla)
- (corr | prec) ☐ 13:10, 10 ago 2014 FrescoBot (Discussione | contributi) m (44 799 byte) (-1) (Bot: *niente spazi dopo l'apostrofo e modifiche minori*) (annulla)
- (corr | prec) ☐ 17:24, 1 lug 2014 93.43.126.58 (Discussione) (44 800 byte) (0) (annulla) (Etichetta: VisualEditor)
- (corr | prec) ☐ 18:55, 21 giu 2014 46.40.157.59 (Discussione) (44 800 byte) (-35) (→Trasformazioni tra sistemi di riferimento) (annulla) (Etichetta: VisualEditor)
- (corr | prec) ☐ 11:42, 21 giu 2014 46.40.157.59 (Discussione) (44 835 byte) (+53) (→Osservazioni) (annulla) (Etichetta: VisualEditor)
- (corr | prec) ☐ 10:54, 21 giu 2014 46.40.157.59 (Discussione) (44 782 byte) (+74) (→Trasformazioni tra sistemi di riferimento) (annulla) (Etichetta: VisualEditor)
- (corr | prec) ☐ 12:34, 11 mag 2014 95.247.210.144 (Discussione) (44 708 byte) (+31) (→Voci correlate) (annulla)

fig5 - Pagina della Cronologia

Wikiblame

Con questo strumento si può fare una ricerca per stringa all'interno della cronologia, per risalire direttamente all'autore che ha scritto una frase in particolare. La ricerca per stringa può essere fatta su un gruppo selezionato di modifiche.

fig.6 - Strumento Wikiblame o "Ricerca nella Cronologia"

Statistiche

Questa pagina contiene le statistiche generali sulla voce (numero totale degli edits, la percentuale delle modifiche etichettate con "m" come minori, distribuzione nel tempo delle modifiche per anno e per mese). I dati statistici più utili ai fini di questa ricerca sono quelli sugli autori. Per ogni autore si ritrova numero di modifiche, percentuale di modifiche minori, date di primo e ultimo contributo e ATBE, vale a dire average time between edits.

Overall statistics	
number of edits	485
number of minor edits	208 (42.9%)
first edit	2003-03-29 00:25 (MassimoM)
most recent edit	2014-11-25 04:51 (Nungalpiriggal)
mean time between edits	8.8 d
average number of edits per year	41.6
average number of edits per month	3.4
unique editors	238 (96 IP addresses)
average number of edits per user	2.0
number of edits within previous day	0
number of edits within previous week	0
number of edits within previous month	1
number of edits within previous year	15

fig.7 - Statistiche generali su una voce Wiki

Capitolo 3

Un campione sotto analisi: relatività ristretta e velocità superluminale. Risultati.



3.1 Relatività ristretta: quality evaluation

*Non dovremmo essere noi ignoranti
i primi utilizzatori di Wikipedia?
Scrivere una voce enciclopedica significa sforzarsi
di rendere un concetto comprensibile
al più vasto numero possibile di persone.*

Ibrandelli⁴⁷

3.1.1 - Sostanza: qualità del contenuto

L'impianto generale della pagina e la qualità dell'informazione che viene veicolata risulta più che soddisfacente. Non sono stati riscontrati errori o incongruenze gravi. La voce ha, come vedremo meglio più avanti, un problema di incompletezza nella trattazione e di qualità didattica in generale.

Entrando più nel dettaglio, esponiamo i risultati dell'analisi testuale fatta attraverso la griglia di osservazione.

1. Fact Checking scientifico

Dal controllo di formule, numeri, unità di misura e date ne è risultato corretto il **71,2%**, 28/39. A spingere verso il basso la percentuale è la notazione vettoriale tridimensionale⁴⁸ usata per i quadrivettori nello spazio-tempo. La notazione formalmente più corretta sarebbe quella con l'indice tensoriale greco (μ per esempio), che scorre da 0 a 3. La componente di posto zero è quella temporale⁴⁹. L'imprecisione è in parte giustificabile perché nella pagina non viene usata la notazione tensoriale.

⁴⁷ Ibrandelli, 29 gennaio 2012 h.17:19 - discussione sulla voce *Relatività ristretta*. L'autore proponeva ai colleghi wikipediani di aggiungere un paragrafo di trattazione semplificata, "senza matematica". La proposta è stata bocciata.

⁴⁸ Il simbolo di vettore, la piccola freccia sopra la lettera che indica la grandezza

⁴⁹ Per esempio, il quadrivettore posizione si indica con $x_\mu = (x_0, \vec{x}) = (x_0, x_1, x_2, x_3)$

In questo sarebbe comunque preferibile non usare indici di nessun tipo (scelta che viene fatta in alcuni libri di testo delle superiori), per non confondere lo spazio-tempo di Minkowski con lo spazio fisico euclideo tridimensionale. Risulta poi imprecisa la data della formulazione delle trasformazioni di Lorentz: su Wikipedia si legge 1897 mentre il paper originale con la prima formulazione è di due anni prima.⁵⁰

2. Classificazione dei periodi

Ogni affermazione, ogni singola frase è stata verificata sulle fonti autorevoli scelte⁵¹. In [tab.1] i risultati del riscontro:

Tipologia di affermazione	Numerosità relativa	Percentuale
CF	104/150	69,3%
Cf	24/150	16%
CnR	4/150	2,6%
PC	14/150	9,5%
E	0/150	0%
SF	4/150	2,6%

Tab.1 - Classificazione delle affermazioni contenute nella voce relatività ristretta⁵²

Anche qui entrano in gioco, alla voce Cf, la notazione usata per i quadrivettori (in Cf) e le affermazioni corrette ma espresse in modo poco felice. Le affermazioni corrette parzialmente degne di nota, oltre a quella contenente la data imprecisa del lavoro di Lorentz e i quadrivettori, sono:

⁵⁰ Lorentz, Hendrik Antoon - Versuch einer Theorie der electrischen und optischen Erscheinungen in bewegten Körpern [Attempt of a Theory of Electrical and Optical Phenomena in Moving Bodies], Leiden: E.J. Brill (1895)

⁵¹ vedi Cap.2, paragrafo 2

⁵² CF corretto anche da un punto di vista formale, Cf corretto ma formalmente non ineccepibile o poco chiaro, CnR corretto ma non rilevante, PC parzialmente corretto, E errato, SF manca riscontro con le fonti.

- il primo postulato della relatività ristretta in cui si legge "tutte le leggi fisiche". In elettrodinamica dei corpi in moto Einstein scrive "leggi meccaniche, elettrodinamiche e ottiche", escludendo la gravità. Tuttavia, in altri testi (esposizione divulgativa e in altri articoli), anche Einstein scrive "le leggi fisiche".
- il *paradosso dei gemelli* viene collocato negli anni '50, mentre il paper di Herbert Dingle su Nature è del 1962⁵³.
- il calcolo della distanza percorsa dal muone è corretto nei valori numerici ma manca delle unità di misura.

3. **Impianto logico della pagina**

I passaggi tra una frase e la successiva sono consequenziali nel 94,4% dei casi. Il paragrafo sulla cinematica contiene una collezione di formule e definizioni, e mancano i passaggi, anche quando sarebbero semplici, tra una grandezza e l'altra.

4. **Bibliografia e collegamenti esterni**

I sei collegamenti esterni sono tutti pertinenti: due versioni dell'articolo originale in due lingue diverse (italiano e l'originale in tedesco), una dispensa di relatività su fisicamente.net redatta da un docente dell'Istituto di fisica de La Sapienza, il link a simulazioni di relatività e un glossario online di meccanica relativistica.⁵⁴

5. **Colloquio con un esperto**

Ho sottoposto la lettura delle voci al professor Andrea Gambassi, docente di fisica teorica alla SISSA⁵⁵. A lui, in qualità di esperto, ho chiesto di formulare un giudizio sulla qualità e l'organizzazione delle informazioni.

⁵³ Dingle, H. "Special Theory Of Relativity", *Nature*, 195, p. 985, 1962. Dingle aveva dibattuto l'argomento e sottoposto il lavoro a Nature e altre riviste anche negli anni precedenti ma la pubblicazione è del 1962.

⁵⁴ progetto Thesaurus, Biblioteca nazionale di Firenze.

⁵⁵ Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati, Trieste.

Gambassi conferma l'esito dell'analisi testuale: il testo non contiene errori, ma al più imprecisioni ed espressioni poco chiare o incomplete. L'impianto è abbastanza logico. Da docente, Gambassi ha però sottolineato quanto possa essere difficile, per un profano, comprendere la totalità delle informazioni riportate. "Si vede molto bene - ha detto - che non è pensata, organizzata e scritta da una sola mano. Sembra quasi che alcuni autori vogliano fare sfoggio di ciò che sanno". Ci sono periodi che contengono espressioni o termini non usati precedentemente, e troppi sono i concetti dati per scontati. Altri in cui si affermano cose corrette ma in modo incompleto, danneggiando la correttezza formale⁵⁶. La chiarezza espositiva manca perché le varie parti del testo, anche se più che sufficienti in termini di correttezza, non sono pensate e organizzate per facilitare il lettore.

3.1.2 -Forma: facilità di consultazione e valore didattico

La trattazione della relatività ristretta è manchevole da un punto di vista della completezza. La sola parte presente è la meccanica (cinematica e dinamica) e manca l'elettrodinamica. Ma Wikipedia, per definizione, non è un prodotto editoriale finito e ci si aspetta sempre - ed è un bene - di trovare buche da riempire, nuove voci da creare. Il linguaggio si mantiene su un registro abbordabile da un punto di vista del lessico (fatta ammenda per i termini propri della disciplina) e meno per quanto riguarda la sintassi. Ci sono molti periodi lunghi e contorti, con una proliferazione di subordinate che, se fosse sciolta, aiuterebbe la comprensione dei contenuti. Pochi i refusi e poche, insufficienti, le immagini a supporto della spiegazione, solo due.

- una esornativa: un francobollo celebrativo di Einstein
- una scarsamente connessa al testo: lo scheda dell'apparato sperimentale di Michelson e Morley. Dell'esperimento si racconta l'esito ma non si descrive il procedimento, né gli strumenti usati.

⁵⁶ Per esempio si usa l'espressione - dice Gambassi - "alte energie". Ma alta rispetto a chi? Mancano i termini di paragone, e mancano gli esempi, di cui non può fare a meno un testo scientifico che voglia essere divulgativo, che voglia farsi consultare.

Il livello della trattazione e la mancanza di altri strumenti didattici di supporto oltre al resto scritto, rendono difficile la comprensione per un lettore che non conosce affatto l'argomento. Difficile, se non impossibile, immaginare che uno studente possa utilizzare la voce sull'enciclopedia per studiare l'argomento.

3.2 Relatività ristretta: profiling degli autori principali

*Se prima eravamo in dieci a ballare l'hully gully,
adesso siamo in due a ballare l'hully gully*

Edoardo Vianello

3.2.1 -Statistiche generali

La pagina *Relatività ristretta* è stata creata il 29 marzo 2003 dall'utente MassimoM. Da allora è stata visitata circa 5 mila volte al giorno, ed è stata modificata 485 volte da 238 utenti diversi. Nell'ultimo anno è stata modificata 15 volte. Il tempo medio tra due modifiche successive è stato di 8,8 giorni e ogni utente ha fatto in media 2 modifiche. Le modifiche etichettate come minori sono il 42,9% del totale, quelle fatte da utenti non registrati sono il 32,2%.

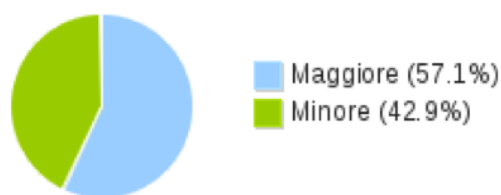


fig.8 - Percentuale di modifiche minori

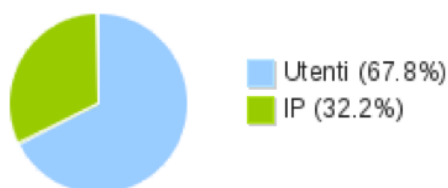


fig.9 - Percentuale di utenti registrati

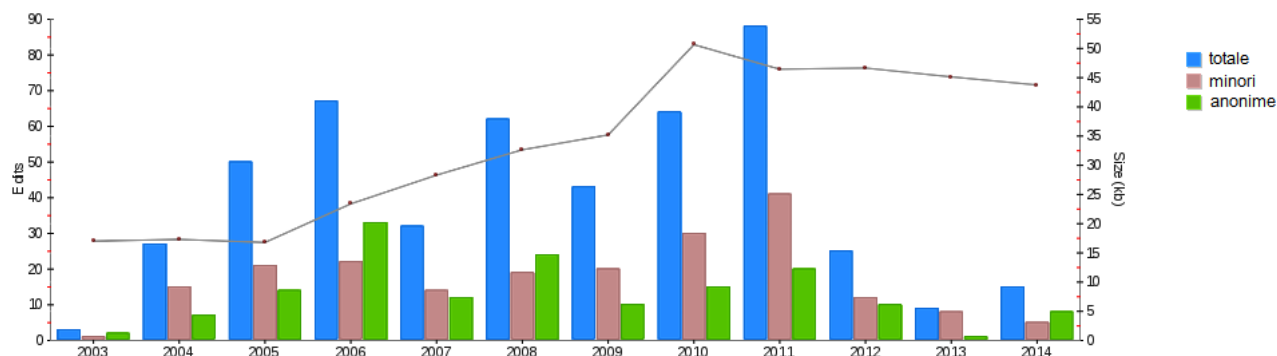


fig.10 - Andamento nel tempo delle modifiche

Wikipedia fornisce due elenchi diversi di *top editors*, stilati con due criteri differenti: uno per numero di modifiche effettuate, e uno per quantità di testo immesso (in bytes). I due elenchi hanno una sovrapposizione.

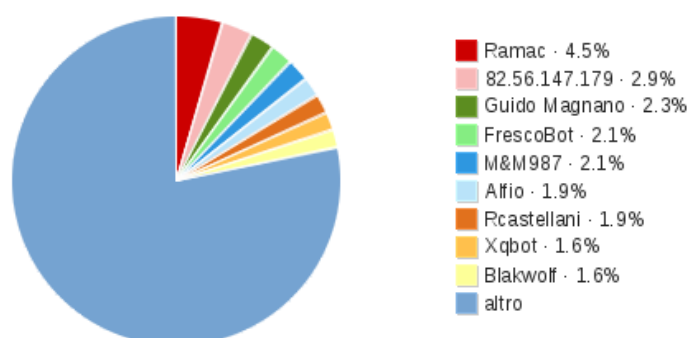


fig.11 - Top Editors per numero di modifiche effettuate

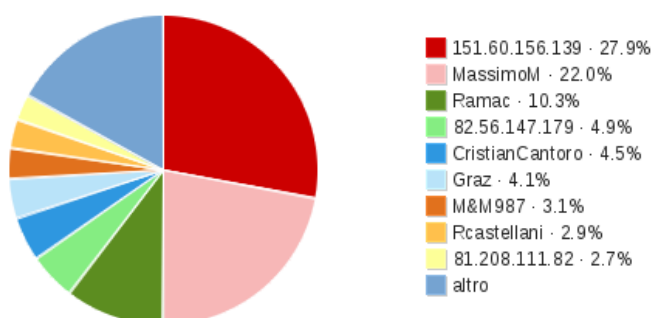


fig.12 - Top editors per quantità di testo immesso

Così come vengono dati, questi due elenchi non danno informazioni sufficienti per gli scopi di questo lavoro di ricerca. Costituiscono però un irrinunciabile materiale di partenza per stilare un unico elenco degli editors veramente rilevanti. "Rilevante", per questo lavoro e per la domanda cui si cerca di

rispondere, significa che ha contribuito in modo importante alla voce nei seguenti modi:

- non solo facendo molte modifiche, ma facendole non di tipo "m" (minori) e "resistenti" agli interventi degli autori successivi
- non solo immettendo testo, ma anche cancellando testo non appropriato.

3.2.2 -Autori al setaccio

La selezione degli autori rilevanti è stata fatta, a partire dalle statistiche generali sulla voce, in tre fasi⁵⁷.

Selezione 1

Si effettua sulla prima lista di top editors ("top" per numero N di interventi). Al numero totale di edits viene sottratto il numero delle modifiche etichettate come minori. Si tratta infatti di refusi, imprecisioni ortografiche, correzioni di tempi verbali che può fare chiunque conosca bene l'italiano. Qui si vuole identificare l'autore esperto di Fisica, non di grammatica italiana.

Filtrati gli edits non "m", va posto un limite inferiore al numero N per ottenere un primo elenco. Conservo gli autori che ne hanno fatte almeno cinque. Da questa prima selezione si ottiene dunque l'elenco degli autori che hanno fatto *almeno 5 modifiche sul contenuto*.

Si tratta di **14** utenti.

Selezione 2

Gli autori importanti non sono solo quelli che aggiungono molto testo, ma anche quelli che eliminano testo non appropriato. E, d'altra parte, una modifica estesa non conta nulla se viene presto cancellata. Nella letteratura su Wikipedia, la longevità è un criterio molto frequente per

⁵⁷ Al seguente link si trova il google sheet con il dettaglio della selezione e del profiling:
https://docs.google.com/spreadsheets/d/1qT6nkZm6LPyGDd8-M-8fQZWWhD_DKhpvN5mT5EN4hqcE/edit#gid=0

valutare la qualità di un contributo. In questa seconda selezione ci si serve della cronologia, delle discussioni tra autori, del confronto fra versioni diverse della voce e della ricerca per stringhe per controllare l'attività di questi 14 contributors. Uno di loro, l'utente non registrato 151.60.156.139, viene cancellato dall'elenco. Il testo più grande immesso è opera sua, ma non era corretto. Dopo pochi giorni è stato eliminato del tutto da Pra1998⁵⁸.

Rimangono così **13** utenti.

Selezione 3

Cerco altri utenti da inserire nell'elenco dall'altra lista di top editors, quella fatta sulla base della quantità di testo inserita. Ci sono autori che hanno fatto poche modifiche (quindi non compaiono nel primo elenco) ma che hanno scritto molto. Anche in questo caso va controllata, attraverso cronologia, discussioni e confronto fra le versioni, la resistenza delle modifiche ai rimaneggiamenti successivi. Si individuano così altri 3 autori, tra cui il creatore della voce MassimoM, da aggiungere all'elenco.

I superstiti sono **17**, 17 su 238, il 7.1%.

3.2.3 -Profiling: quanti esperti?

Sono 17, hanno contribuito in modo importante alla voce con almeno 5 edits durevoli sul contenuto. Di loro è noto il nickname, se registrati su Wikipedia, oppure solo un codice IP: Ramac, 82.56.147.179, GuidoM, M&M987, Rcastellani, Blackwolf, Buzzlightyear, 2.227.110.12, Pra1998, 151.60.156.139, 81.208.111.82, Zuponicola, Daniele Sasso, ^musaz, MassimoM⁵⁹, CristianCantoro e Graz.

⁵⁸ Uno dei dati forniti nelle statistiche di Wikipedia è la grandezza, in bytes, del testo più grande aggiunto (da 151.60.156.139) e del testo più grande cancellato (da Pra1998). Per questa voce risultano uguali.

⁵⁹ creatore della voce

Chi c'è dietro questo elenco?

A questo punto va fatto il vero e proprio profiling cercando e passando al setaccio il profilo utente su Wikipedia, se esiste, l'attività sul sito, le aree d'interesse, le discussioni su questa e altre voci. Per alcuni utenti si è individuato un blog, un nome, un cognome e anche un volto.

Cinque sono certamente fisici:

- GuidoM è Guido Magnano⁶⁰. Insegna fisica matematica ai matematici dell'Università di Torino. Su Wikipedia è stato bloccato da un admin a tempo indeterminato. Suona strumenti antichi e ha litigato con un altro utente per la scrittura della voce "viola organista".
- M&M987 si chiama Matteo Mori e ha studiato Fisica a La Sapienza, suona la chitarra in una band rock-fusion di Roma. Ama cucinare e quest'anno ha fatto un corso alla chef academy.
- Pra1998 è un fisico particellare. Il suo articolo *Quantum electrodynamics* nella versione inglese di Wikipedia è stato votato e etichettato come "good article".
- MassimoM è il creatore della pagina. Si chiama Massimo Mosio, si è laureato in fisica a Genova nel 1984 e oggi lavora nel settore dei servizi informatici. Quando ha tempo scrive di tecnologia su un blog⁶¹.
- CristianCantoro si chiama Cristian Consonni⁶². È un fisico e un attivista per il software libero, è nel board di Wikimedia Italia (è stato vicepresidente e da aprile 2014 è tesoriere).

⁶⁰ http://www.matematica.unito.it/do/docenti.pl/Show?_id=gmano

⁶¹ <http://notiziaware.blogspot.it/>

⁶² <http://wiki.wikimedia.it/wiki/Utente:CristianCantoro>

Quattro (Rcastellani, ^musaz e 151.60.156.139 e Buzzlightyear) sono quasi certamente esperti. Non sono stati identificati in modo chiaro come nei casi precedenti ma la loro attività su Wikipedia è (quasi) esclusivamente indirizzata a fisica e, in misura minore, a matematica. I loro interventi nelle discussioni sono appropriati e le loro modifiche, anche in altre voci, sono resistenti. L'unica informazione reperita è che a Buzzlightyear piacciono i videogiochi e la sua chitarra elettrica.

Tre sono stati etichettati come *non esperti*.

Walter Chiricozzi è Blackwolf. È di Viterbo, parla tre lingue e ha un blog⁶³ su cui scrive di sociologia e politica. Gli interessa la medicina, dice, sul suo profilo Wikipedia. Graz ha scritto di tutto un po', dalla biografia di Gerry Scotti a quella di Camillo Ruini, da Alex del Piero al film Basic Instinct. Daniele Sasso ha 24 anni e si è laureato in architettura a Ferrara. Sul suo curriculum, nel sito dell'ordine degli architetti di Pavia, si legge "appassionato di fisica".

Gli ultimi cinque non hanno lasciato tracce. Non hanno un profilo su Wikipedia e non hanno partecipato alle discussioni tra autori e non hanno, sul sito, una attività indirizzata in modo preciso verso una disciplina. A parte 2.227.110.12. Oltre a relatività ristretta, ha contribuito solo a un'altra voce: satanismo.

3.3 Velocità superluminale: quality evaluation

*Pàstene sopfaltate secondo l'articolo 12,
abbia pazienza, sennò posterdati per due,
anche un pochino antani in prefettura.
Senza contare che la supercazzola prematurata
ha perso i contatti col tarapìa tapiòco.*

Conte Mascetti⁶⁴

⁶³ <http://bwb-2.blogspot.it/>

⁶⁴ Il Conte Mascetti è uno dei personaggi del film *Amici miei*, di Mario Monicelli (1975). La citazione è una delle cosiddette "supercazzole" inserite nel film. Si tratta di una frase *nonsense*, contenente parole inventate, utilizzata per aggirare l'interlocutore. L'espedito letterario viene inventato da Ettore Petrolini (attore e drammaturgo, 1894-1936) ma diventa famoso con il neologismo "supercazzola" solo con il film *Amici miei*.

3.3.1- Sostanza: qualità del contenuto

La pagina analizzata presenta numerose e gravi patologie, dall'impianto generale alle informazioni, dalle fonti alla leggibilità. L'applicabilità al testo della griglia di analisi è risultata difficoltosa e, a tratti, quasi impossibile. Incomprensibile: questo è il giudizio sintetico che può qui essere anticipato. Annoverare questa voce sull'enciclopedia tra le voci di fisica sarebbe un grave errore di valutazione: si tratta di una collezione, poco dotata di senso, di sedicenti affermazioni scientifiche, suggestioni dalla fantascienza (molte), e interi periodi che richiedono un forte sforzo di immaginazione per essere interpretati (compresi no, quello no).

Esponiamo adesso, nel dettaglio, i risultati dell'analisi testuale⁶⁵.

1. **Fact Checking scientifico**

Pochissimi i numeri e le formule contenute nel testo, solo sei. Come già anticipato, non c'è una vera e propria trattazione scientifica in questa voce. Cinque risultano corretti e su uno non ho trovato riscontro. Gli unici dati inseriti si trovano nella sezione "neutrini".

Il riscontro è stato effettuato con i comunicati stampa dell'INFN⁶⁶ pubblicati in occasione della presunta velocità superluminale misurata con l'esperimento OPERA.

2. **Classificazione dei periodi**

La classificazione non è stata fatta utilizzando le sole fonti fin qui dichiarate. Come già anticipato, il contenuto della pagina esula dalla trattazione scientifica e rigorosa della relatività ristretta.

⁶⁵ Per *Velocità Superluminale* sono state usate anche altre fonti per l'analisi testuale che verranno, via via, dichiarate.

⁶⁶ http://www.infn.it/comunicazione/index.php?option=com_content&view=article&id=143:23-09-2011-lesperimento-opera-riporta-anomalie-nel-tempo-di-volo-dei-neutrini-in-viaggio-dal-cern-ai-laboratori-infn-del-gran-sasso&Itemid=837&lang=it

Nel testo vengono citati argomenti che non si trovano, generalmente, sui testi di relatività, come l'effetto Casimir. Per ovviare alla mancanza si sono cercate e consultate altre fonti: paper scientifici, il testo universitario di fisica della materia Haken-Wolf. Inoltre è stata fatta una ricerca online sulle teorie non confermate citate e i loro autori⁶⁷.

In [tab.2] i risultati del riscontro:

Tipologia di affermazione	Numerosità relativa	Percentuale
CF	11/124	8,9%
Cf	27/124	21,7%
CnR	37/124	29,8%
PC	16/124	12,9%
E	11/124	8,9%
SF	22/124	17,8%

Tab.2 - Classificazione delle affermazioni contenute nella voce Velocità Superluminale⁶⁸

Le affermazioni etichettate come CF o Cf sono poche e confinate nella parte iniziale della pagina in cui si ricordano, e non completamente in modo rigoroso, i fondamenti della relatività ristretta. Quasi il 30% del testo contiene affermazioni vere ma non rilevanti da un punto di vista scientifico perché fanno riferimento alla fantascienza⁶⁹.

⁶⁷ vedi bibliografia.

⁶⁸ CF corretto anche da un punto di vista formale, Cf corretto ma formalmente non ineccepibile o poco chiaro, CnR corretto ma non rilevante, PC parzialmente corretto, E errato, SF manca riscontro con le fonti.

⁶⁹ Si nomina, per esempio una scrittrice statunitense di fantascienza e fantasy, Catherine Asaro (<http://www.catherineasaro.net>), che in uno dei suoi romanzi suggerisce di trattare la velocità come grandezza complessa, dotata di una componente immaginaria.

Le affermazioni etichettate come PC (parzialmente corrette) sono qui intese come vere nel loro ristretto contesto, non come fatti scientifici verificati. Per esempio, è vero che il fisico teorico messicano Miguel Alcubierre ha proposto un modello alternativo di spazio-tempo che ammette velocità superiori a c ⁷⁰, è vero che il fisico italiano Giovanni Amelino Camelia ha proposto una teoria della relatività "doppiamente speciale", ma è altrettanto vero che queste teorie non sono confermate. Numerose sono, invece, le conferme sperimentali della relatività ristretta. Queste affermazioni nel testo analizzato non possono dunque essere associate alle prime due categorie. E poi ci sono gli errori. Per citarne un paio, nel testo si nominano galassie di 14 miliardi di anni di età che si allontanerebbero reciprocamente a velocità superiori a c (quando l'età dell'universo è 13.8 miliardi di anni). E un errore particolarmente degno di nota riguarda il paragrafo sui neutrini superluminali, in cui si afferma che "il risultato"⁷¹ è in attesa di verifiche indipendenti da parte di altri esperimenti".

3. **Impianto logico della pagina**

I passaggi tra una frase e la successiva sono consequenziali solo nel 22% dei casi. La voce è una collezione di informazioni discutibili nel contenuto e nell'impianto generale.

4. **Bibliografia e collegamenti esterni**

Le referenze sono carenti in qualità. I collegamenti esterni sono diciannove.

In testa alla lista si trova un articolo su fantascienza.com⁷² e la versione inglese su il sito Popular mechanics di cui è la traduzione. I paper scientifici su riviste peer-review sono solo tre, come tre sono i collegamenti a riviste di divulgazione scientifica come *Scientific American*. I link restanti rimandano a testate generaliste, come *The Guardian* o *BBC news*, e si riferiscono per lo più alla vicenda dell'esperimento OPERA.

⁷⁰ http://www.princeton.edu/~achaney/tmve/docs/Alcubierre_drive.html

⁷¹ l'esistenza di neutrini di velocità superiori a c .

⁷² <http://www.fantascienza.com/magazine/notizie/16479/dieci-modi-per-viaggiare-pia-veloci-della-luce/>

5. Colloquio con un esperto

"Mi sono chiesto che cosa ci si aspetta dalla lettura di un testo, qualsiasi testo. Ci si aspetta di trovare una successione organica e logica di fatti o idee, di ricevere informazioni o, in alcuni casi, emozioni. Qui, di tutto questo, non c'è nulla". Il fisico teorico Andrea Gambassi è stato, anche in questo caso, l'esperto consultato e la sua valutazione conferma l'analisi effettuata con la griglia di osservazione. Il paragrafo sull'effetto Casimir e quello sulla teoria di Heim vengono addirittura etichettati come "deliranti". Secondo l'esperto la pagina ha ben poco di scientifico. Si tratta di una collezione di affermazioni indecifrabili e sconnesse da un punto di vista logico, in cui Poincaré e Minkowski convivono con *Star Trek*. La voce contiene un testo privo di referenze e semplicemente incomprensibile. Cui prodest?

3.3.2 Forma: facilità di consultazione e valore didattico

La trattazione dell'argomento non è, da un punto di vista scientifico, completa: mancano referenze valide e manca una trattazione rigorosa della questione. Le teorie e i modelli che ammetterebbero velocità superluminali sono elencate senza un vero intento divulgativo e, soprattutto, mancano spesso di un fondamentale elemento chiarificatore: non c'è scritto che queste teorie non hanno, per il momento, conferme. Al contrario, ci sono numerosi argomenti e considerazioni che esulano dall'ambito scientifico. La voce non può essere annoverata tra le voci scientifiche dell'enciclopedia.

Il linguaggio è difficile, soprattutto da un punto di vista del lessico (molti sono i termini tecnici privi di spiegazione e che appaiono nel testo senza essere introdotti). La sintassi non è, invece, particolarmente ostile. Non ci sono frasi che hanno struttura ipotattica ostile. Ciò che è ostile è la successione delle frasi, anche se brevi, e il loro contenuto. Il testo non è un buon veicolo per le informazioni. Risulta praticamente impossibile da consultare. Non serve all'esperto e non serve al lettore curioso per trarre informazioni.

Due sono le immagini presenti:

- una esornativa: la rappresentazione, da parte di un artista, di un veicolo spaziale
- una incomprensibile che rappresenta un ipotetico dispositivo antigravitazionale, relativa a un paragrafo (teoria di Heim) altrettanto incomprensibile.

3.4 Velocità superluminale: profiling degli autori principali

Tutti si sentono in diritto, in dovere, di parlare di cinema.

Parlo mai di neuropsichiatria?

Parlo mai di botanica, io? Parlo mai di algebra?

Io non parlo di cose che non conosco!

Nanni Moretti⁷³

3.4.1 - Statistiche generali

La pagina *Velocità superluminale* è stata creata il 5 marzo 2006 dall'utente MarcoK e viene visitata da allora circa 67 volte al giorno. Ha subito 231 modifiche da parte di 115 utenti⁷⁴, e il tempo medio tra due modifiche successive è di 13,8 giorni.

⁷³ dal film *Sogni d'oro* (1981)

⁷⁴ I dati sono riferiti alla data 16 novembre 2014.

Dall'inizio del 2014 al 16 novembre 2014 è stata modificata solamente 12 volte. Gli edits minori sono il 33% del totale, e quelli fatti da utenti non registrati il 34,3%.

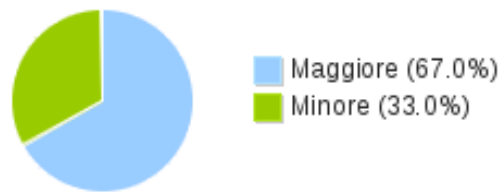


fig. 13 - Percentuale di modifiche minori

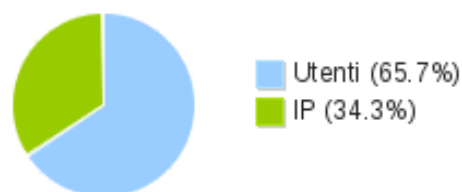


fig. 14 - Percentuale di utenti registrati

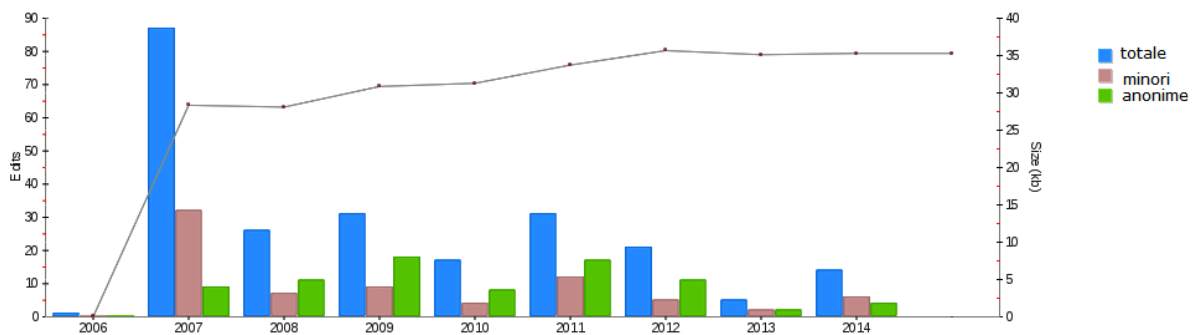


fig. 15 - Andamento nel tempo della modifiche

I *top editors* sono, anche in questo caso, individuati con due diversi criteri: il numero di modifiche effettuate e la quantità di testo immesso (in bytes).

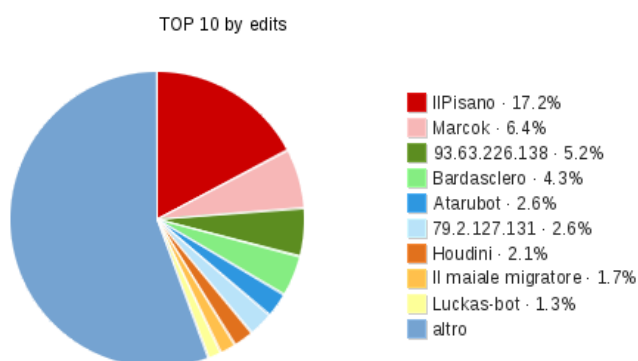


fig. 16 - Top editors per numero di modifiche effettuate

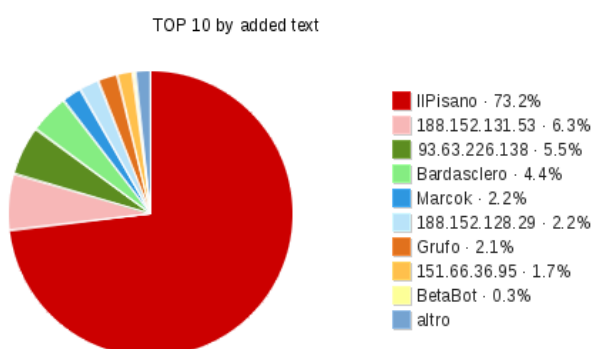


fig. 17 - Top editors per quantità di testo immesso

3.4.2 - Autori al setaccio

I due elenchi di top editors hanno una sovrapposizione. In questo caso, va ripetuta la strategia applicata nel caso di *Relatività ristretta* per individuare un unico elenco di top editors, che siano rilevanti per gli scopi di questo lavoro.

Dalla prima selezione si ottiene un elenco di 5 utenti, che resiste anche alla seconda selezione. Dalla terza selezione, fatta a partire dalla seconda lista di top editors, l'elenco si aggiorna includendo altri tre utenti.

L'elenco di top editors contiene **8** utenti, il 6,9% del totale.

3.4.3 - Profiling: quanti esperti?

Sugli otto utenti⁷⁵ superstiti viene fatto il profiling.

⁷⁵ Se registrati su Wikipedia è noto il nickname, altrimenti è noto solo il codice IP

Si tratta di IPisano, MarcoK, 93.63.226.138, Burdasclero, 79.2.127.131, 188.152.131.53, 188.152.128.29 e Grufo.

Nessuno degli utenti può essere identificato con certezza come esperto di fisica. **Uno** solo è l'autore che possiamo etichettare come "probabilmente esperto":

- 188.152.131.53: non sappiamo chi sia perché non è utente registrato e non ha partecipato alle discussioni. L'unica cosa che sappiamo è che ha contribuito a Wikipedia quasi esclusivamente a voci di matematica e fisica. Ha creato la scheda libro sul celebre *La fisica di Feynman*.

Cinque risultano dal profiling come non esperti:

- IPisano ha 40 anni, vive a Pisa e ha una spiccata passione per Vasco Rossi e la fantascienza. Lo testimonia la sua attività su Wikipedia e il suo profilo su anobii. Ha scritto quasi esclusivamente di fantascienza, molte biografie di scrittori e schede di libri.
- MarcoK ha una medaglia Wikipedia per i suoi contributi, numerosissimi, al progetto wiki Fantascienza. Ha creato la pagina *Velocità superluminale* nel 2006 e scrive candidamente, nella discussione dietro le quinte: " la voce avrebbe bisogno di una bella revisione da qualcuno esperto di fisica. L'ho inserita perché mi piaceva l'ambito fantascientifico della cosa, non avevo notato che fosse così infarcita di nozioni scientifiche".
- 93.63.226.138 è un codice IP. Di lui si sa solo che è un esperto di nautica e aeronautica. Navi e compagnie navali, aerei ed elicotteri sono le pagine che ha creato.
- Grufo ha scritto di grammatica italiana e fonetica e, al di fuori di questo campo, i suoi interventi riguardano le due voci *velocità superluminale* e *comunicazione superluminale*.
- 188.152.128.29 è quasi certamente campano, e gli piace il cibo. ha creato la voce "panuozzo" e ha molto contribuito alle voci gastronomia campana, brodo nero, patan'e cicc e taddi e fave.

Due infine, Burdasclero e 79.2.127.131, non hanno lasciato tracce. Burdasclero è registrato ma non ha compilato il profilo sul sito. Non hanno partecipato alle discussioni e i loro contributi altrove sono minori e non si individua un'area di interesse preferita.

Conclusioni

Le dimensioni ridotte del campione analizzato e la specificità dell'argomento non hanno impedito di ritrovare risultati in accordo con molti studi in letteratura, fatti su campioni più estesi, su altre tipologie di voci e con differenti strategie di ricerca sociale e di quality evaluation. Questa tesi è uno studio pilota, esplorativo: suggerisce numerose altre ipotesi che andrebbero sottoposte a verifica in nuove, successive attività di ricerca.

I *numeri* sono il primo fattore rilevante emerso. Più di ventiduemila. Questo è il numero dei laureati italiani in fisica nel decennio 1993-2003⁷⁶. A questi vanno aggiunti quelli del decennio successivo, le studentesse e gli studenti di questi ultimi anni, i loro insegnanti. Il numero di potenziali autori di una voce su Wikipedia che riguardi la fisica ha un ordine di grandezza ben più grande rispetto all'ordine di grandezza di 238 e, soprattutto, alle due decine di autori rilevanti per la voce *Relatività ristretta*. Gli autori dell'altra voce analizzata, *Velocità superluminale*, sono 115, ancora meno, e solo 8 quelli rilevanti. I numeri degli elenchi finali di top editors, molto al di sotto delle aspettative, sono il primo risultato da sottolineare. Il paradigma della saggezza della folla sembra scontrarsi con le statistiche attese, e trovate.

L'analisi testuale e il profiling sulle due voci hanno fornito risultati molto diversi e che, proprio per questo, sembrano confermarsi vicendevolmente.

Relatività ristretta è una voce altamente specialistica. Di certo non ci si improvvisa autori di un testo sulla relatività: la stesura e la redazione di una voce scientifica non è il prodotto emergente dalle interazioni di una massa critica. Sembra essere, al contrario, il risultato di una piccola comunità di esperti/appassionati che discute e si confronta. La quota di esperti individuata è circa il triplo dei non esperti e gli interventi di scarsa qualità hanno avuto, e probabilmente continueranno ad avere, vita breve. Sebbene non brilli in valore didattico, la qualità del contenuto è più che sufficiente.

⁷⁶ Fonte Almalaurea. 2003 è l'anno di creazione della voce *Relatività ristretta*.

Velocità superluminale è incomprensibile. Si tratta di un'accozzaglia di argomenti pseudoscientifici esposti in assenza di filo logico, traduzioni da siti di fantascienza e una collezione di teorie non confermate. Le referenze e, soprattutto, le discussioni tra gli autori rivelano un fatto incontrovertibile: questa *non* è una pagina scientifica. Nelle intenzioni di chi l'ha creata, e nell'impianto generale, la voce nasce come voce di fantascienza. Molto probabilmente un esperto di fisica che vi si imbatte la riconosce come non scientifica, non la identifica come qualcosa di appartenente al proprio territorio, e passa oltre. Gli esperti non hanno contribuito, o lo hanno fatto in modo marginale, a questa voce.

La comunità di fisici italiani, per quanto emerso, contribuisce poco e lo fa su argomenti solidi della disciplina. E, altro elemento da sottolineare, non è emersa una relazione forte tra qualità e quantità. Entrambi i casi analizzati, unitamente alla brevità delle liste di autori rilevanti, suggeriscono fortemente che *la qualità del contenuto in una voce (scientifica) è legata al contributo esperto*.

Questo lavoro di tesi si è occupato anche della facilità di consultazione (comprehensability), vale a dire della qualità, non solo del contenuto, ma anche della forma. Questo il fronte in cui gli autori rivelano il loro punto debole: *non sono esperti di comunicazione*. Tanto meno di didattica. Gli esperti producono testi di buon livello che parlano, però a un pubblico troppo ristretto. Non sciolgono dubbi, non schematizzano, non curano il linguaggio e gli apparati didattici di supporto. Gli esperti partecipano ma sembrano parlare tra di loro, sembrano preoccuparsi poco o nulla dei loro lettori. Gli appassionati di fantascienza, d'altra parte, parlano tra loro dei loro film, dei loro libri, e scrivono in modo incomprensibile e non inclusivo. Il risultato è che Wikipedia non è il "luogo" più adatto per la prima comprensione della relatività ristretta o del limite invalicabile nel valore di c . È il luogo per rileggere, per ripassare, per fare nuove connessioni tra conoscenze pre-esistenti, per ampliarle seguendo nuovi link. E anche questo è, di tipo diverso, un valore. Inoltre, ed è fattore che non può essere dimenticato, Wikipedia non è, per definizione, un prodotto editoriale finito. Non lo sarà mai. Può sempre e ancora migliorare la sua offerta.

Preme adesso, tra le riflessioni conclusive, la necessità di fare un salto al di sopra della relatività, della fisica e anche della scienza contenuta in Wikipedia. Ci siamo chiesti quanto fosse buona l'informazione e da chi fosse prodotta. Ma al di là del risultato contingente, qual è il valore epistemico⁷⁷ di Wikipedia? Forse non dobbiamo confrontare il valore e la qualità di Wikipedia con quello delle enciclopedie tradizionali, ma con tutta quella miriade di altre fonti online che le persone userebbero per informarsi se Wikipedia non ci fosse. E forse si può arguire che una comunità di persone che collabora e che si scambia conoscenza ha, in ogni caso e con qualunque risultato, valore epistemico.

Tell me and I forget. Teach me and I may remember. Involve me and I learn.

(Benjamin Franklin)

⁷⁷L'epistemologia studia teorie e metodi della conoscenza, specie di quella scientifica. " L'epistemologia è lo studio di ciò che la conoscenza è e di come le persone possono acquisirla" (Feldman, 2003)

Ringraziamenti

Un mitra di stimoli culturali puntato alla testa. Questo è stato il master, e per una curiosa assetata come me è un grande regalo.

Ringrazio il mio relatore Nico Pitrelli per le chiacchierate e i libri suggeriti, e Andrea Gambassi per la sua disponibilità (e pazienza). Ringrazio chi mi ha scelta in quell'ottobre 2012, consentendomi di appartenere al quel campione non rappresentativo di umanità che è la mia classe. Ne sono stata onorata. Ringrazio i miei compagni, quelli che sono diventati amici e che ci saranno ancora e ancora. Ringrazio anche quelli che non mi somigliano, perché mi hanno fatto capire cose di me che non sapevo.

Ringrazio il molo audace, la bora, l'osmiza, il capo in b, il parco della SISSA e la vista dall'ultimo piano. No, lo stramaledetto bus 38 non lo ringrazio.

Grazie alla mia famiglia.

Grazie ai miei genitori, Bruno e Lina. Senza il loro supporto e incoraggiamento molte cose non sarebbero mai accadute. A mio fratello Andrea per esserci sempre, anche quando non c'è. A Sara e Marco per i weekend "a casa" che mi hanno fatta respirare. A Francesco che non sa ancora dire il mio nome, ma che ha saputo insegnarmi che la parola "impossibile" non esiste.

Grazie a Vincenzo, infinitamente. Lui sa perché.

Bibliografia

Libri

- D. Weinberger - *La stanza intelligente* - Codice (2012)
- M. Nielsen- *Le nuove vie della scoperta scientifica: come l'intelligenza collettiva sta cambiando la scienza* - Einaudi (2012)
- B.Russell - *La visione scientifica del mondo* - Laterza (2009)
- M. Bucchi - *Scienza e società* - Raffaello Cortina editore (2010)
- F. Bini - *Te la do io wikipedia. Wikipediano in 60 minuti (digitalissimo)* - Edizioni goWare (2014)
- E. Mastrangelo - *Wikipedia. L'enciclopedia libera e l'egemonia dell'informazione* - Bietti editore (2014)
- A. Lih - *La rivoluzione di Wikipedia (trad. di C.Castiello)* - Codice (2010)
- A. Swartz - *Who writes wikipedia?* - open access essay
- J. M. Reagle Jr. - *Good faith collaboration: the culture of wikipedia* - MIT press (2010) London
- E.Mazzoni , R. Reggi - *Effetto lucifero su wikipedia (2012)-*
<https://it.scribd.com/doc/100191058/60/BIBLIOGRAFIA>
- V.Sundaram - *Wikipedia a personal appeal (open access ebook)*
- P.Ayers,C.Matthews,B. Yates- *How Wikipedia Works: And how You Can be a Part of it* - No sarch press (2008)
- J.Broughton -*Wikipedia the missing manual* - `OReilly Media (2008)
- J.J.Anderson - *Wikipedia the company and its founder* -ABDO publishing company (2011)
- F.J.Ricardo- *Cyberculture and new media* - Rodopi BV Editions (2009)
- A.Keen – *Cult of amateur* – DoubleDay (2007)
- A.Goldman – *Knowledge in a social world* – Oxford University Press (1999)
- A.Eistein - *Relatività: esposizione divulgativa* - Bollati Boringhieri (1967)

- A.A.Tyapkin - *Relatività speciale* - JacaBook (1993)
- V.Barone - *Relatività, principi e applicazioni* - Bollati Boringhieri (2004)
- W.Pauli - *Teoria della Relatività* - Bollati Boringhieri (2008)
- G.C.Ghirardi - *Un'occhiata alle carte di Dio* - Il Saggiatore (2009)
- H.Haken, H.C.Wolf - *Atomic and quantum physics: an introduction to fundamentals of experiments and theory* - Springer (1987)

articoli accademici

- A.Einstein - *Elettrodinamica dei corpi in moto -Zur Elektrodynamik bewegter Korper*, Annalen der Physik 17, 891-921 (1905)
- B.Stvillia, M.B.Twidale, L.C.Smith, L.Gasser - *Information quality work and organization in Wikipedia* - Journal of the association for information science and technology (JAIST), vol. 59, pp. 983-1001 (2008)
- T.Chesney- *An empirical examination of wikipedia's credibility* - First monday, vol. 11 n. 11 (2006)
- B.Wilkinson, B.Huberman - *Cooperation and quality in wikipedia* - Wikisym07 proceedings of the 2007 international symposium on wikis, pag. 157-164
- B.Wilkinson, B.Huberman - *Assessing the value of cooperation in wikipedia* - First Monday, vol 12 n. 4 (2007)
- B.T.Adler, K.Chatterjee, L.De Alfaro, M.Faella -*Assigning trust to Wikipedia content* - Wikisym08 proceedings of the 2008 international symposium on wikis, article n. 26
- A.Kittur, R.E.Kraut - *Harnessing the wisdom of crowds in wikipedia: quality through coordination* - CSCW08 proceedings of the 2008 ACM conference on computer supported cooperative work, pp. 37-46
- A. Kittur, E. Chi, B.A. Pendleton - *Power of the Few vs. Wisdom of the Crowd: Wikipedia and the Rise of the Bourgeoisie* - CHI2012 (Computer Human Interaction) proceedings on 2012 conference
- F.B.Viegas, M.Wattenberg, J. Kriss, F. van ham - *Talk before you type: coordination in Wikipedia* - HICSS, 2007 Proceedings of the Conference on System Sciences 2007, pp. 78a

- A.Halfaker, A. Kittur, R. Kraut - *A Jury of Your Peers: Quality, Experience and Ownership in Wikipedia* - Wikisym09 proceedings of the 2009 international symposium on wikis, article n. 15
- I.Takashi,K. Nemoto, B. Peters, P. Gloor - *Analyzing the Creative Editing Behavior of Wikipedia Editors Through Dynamic Social Network Analysis* - Science direct Procedia vol.2, Issue 4, pag. 6441 - 6456 (2010)
- C. Royal,D. kapila - *What's on Wikipedia, and What's Not...? Completeness of Information on the Online Collaborative Encyclopedia* - ISOJ07 proceedings of the international symposium of online journalism (2007)
- N.Korfiatis, M.Poulos, G. Bokus - *Evaluating authoritative sources using social networks: an insight from Wikipedia*- Online information review, vol.30 issue 3, pp. 252-262 (2006)
- A. Kittur, B. Suh- *Can You Ever Trust a Wiki? Impacting Perceived Trustworthiness in Wikipedia* -Wikisym08 proceedings of the 2008 international symposium on wikis, article n. 36, pp.77-80
- S. Niederer - *Wisdom of the crowd or technicity of content? Wikipedia as a sociotechnical system* - New Media & Society Journal, vol. 12 no. 8, pp. 1368-1387 (2010)
- S. Kuznetsof - *Motivation of contributors to Wikipedia* - ACM SIGCAS Computers and Society journal, vol.36 Issue 2, Article n. 1(2006)
- AA.VV.- *The Quality of Open Source Production: Zealots and Good Samaritans in the Case of Wikipedia* - Dartmouth Computer Science Technical Report TR2007-606 (2007)
- M. Hu, E. Lim, A. Sun, H.W.Lauw, B.Q. Wuong - *Measuring Article Quality in Wikipedia: Models and Evaluation* - Proceedings of the 16th ACM Conference on Conference on Information and Knowledge Management, pp. 243-252 (2007)
- D.Anthony, S.W.Smith, T.Williamson - *Reputation and Reliability in Collective Goods: The Case of the Online Encyclopedia Wikipedia* - Rationality and society sage journals, vol. 21 n.3, pp. 283-306 (2009)
- K.Stein, C.Hess- *Does It Matter Who Contributes? – A Study on Featured Articles in the German Wikipedia* - In Proceedings of the 18th Conference on Hypertext and Hypermedia, pp. 171-174 (2007)
- N.Miller - *Wikipedia and the disappearing author* - ETC a review of general semantics, vol. 62, n.1, pp. 37-41 (2005)

- F.A.Nielsen - *Scientific citations in Wikipedia* - First monday, vol. 12, n.8 (2007)
- R.B.Almeida, B.Mozafari, J.Cho - *On the Evolution of Wikipedia* - proceedings of ICWSM (2007)
- S.Biancani - *Measuring the Quality of Edits to Wikipedia* - proceedings of opensym14 (2014)
- A.Kittur, B.Suh, B.A.Pendleton - *He Says, She Says: Conflict and Coordination in Wikipedia* - In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 453-462 (2007)
- D.Fallis - *Towards an epistemology of Wikipedia* - Journal of American Society Information Science(JASIS), Vol. 59, n. 10, pp. 1662-1674 (2008)
- S.Biancani - *Measuring Author Contributions to the Wikipedia* - proceedings wikiSym08, article n.15 (2008)
- G.Bressi, G.Carugno et al. - *Measurements of the Casimir effect Force between parallel metallic surfaces* - Physical Review Lett., vol.88, n.4 (2002)
- M. Morris, K.Thorne - *Wormholes, time machines and the weak energy condition* - Physical Review Lett., vol.61, n.13 (1988)
- S.W.Hawking - *Wormholes in spacetime* - Phys. Review, n.37 (1988)
- C. Wilson,G. Johansson et al. - *Observation of the Dynamical Casimir Effect in a Superconducting Circuit* - Nature, 479, pp. 376-379 (2011)

Allegato A

Mission

The mission of the Wikimedia Foundation is to empower and engage people around the world to collect and develop educational content under a free license or in the public domain, and to disseminate it effectively and globally.

In collaboration with a network of chapters, the Foundation provides the essential infrastructure and an organizational framework for the support and development of multilingual wiki projects and other endeavors which serve this mission. The Foundation will make and keep useful information from its projects available on the Internet free of charge, in perpetuity.

Allegato B

Founding Principles

- **Freedom**

An essential part of the Wikimedia Foundation's mission is encouraging the development of free-content educational resources that may be created, used, and reused by the entire human community. We believe that this mission requires thriving open formats and open standards on the web to allow the creation of content not subject to restrictions on creation, use, and reuse. At the creation level, we want to provide the editing community with freely-licensed tools for participation and collaboration. Our community should also have the freedom to [fork](#) thanks to freely available [dumps](#). The community will in turn create a body of knowledge which can be distributed freely throughout the world, viewable or playable by free software tools.

- **Accessibility and quality**

All the legal freedom to modify or distribute educational content is useless if users cannot get access to it.

We try our best to give online access to high quality Wikimedia project content 24 hours a day and 7 days a week, as well as provide access to regularly updated, user-friendly, and free dumps of Wikimedia project content. We try, through partnerships if necessary, to ensure the widest distribution, through DVD's, books, PDF's, or other non-internet based means. To ensure world-wide, unrestricted, dissemination of knowledge, we do not enter into exclusive partnerships, with regards to access to our content or use of our trademarks.

- **Independence**

As a non-profit, we mostly depend on gifts to operate (donations, grants, sponsorship, etc.). It is very important to us to ensure our organization stays

free of influence in the way it operates. For this reason, we strictly follow a donation policy, reserve the right to refuse donations which could generate constraints, and try to multiply the diversity of revenue sources.

- **Commitment to openness and diversity**

Though US-based, the organization is international in its nature. Our board of trustees, staff members, and volunteers are involved without discrimination based on their religion, political beliefs, sexual preferences, nationalities, etc... Not only do we accept diversity, but we actually look forward to it.

- **Transparency**

We must communicate Wikimedia Foundation information in a transparent, thorough and timely manner, to our communities and more generally, to the public.

- **Our community is our biggest asset**

We are a community-based organization. We must operate with a mix of staff members, and of volunteers, working together to achieve our mission. We support community-led collaborative projects, and must respect the work and the ideas of our community. We must listen and take into account our communities in any decisions taken to achieve our mission.

Allegato C

I siti fratelli

La fondazione Wikimedia ha avviato e sovvenziona altri progetti collaborativi online per la condivisione di conoscenza, su siti detti "fratelli".

- **Wikizionario:** è un dizionario che contiene, per ogni voce, per ogni lingua, significato, pronuncia, grammatica, etimologia e traduzione in inglese e in altre lingue
- **Wikiquote:** elenchi di citazioni, aforismi, massime per le quali è dichiarata la fonte
- **Wikinotizie:** cronaca e notizie raccontate in tempo reale dagli utenti. Contiene anche ricerche originali, interviste e tutti i lavori di giornalismo bottom-up
- **Wikisource:** è una biblioteca digitale che ospita testi di pubblico dominio (i cui autori siano deceduti da 70-100 anni, in accordo alle diverse legislazioni). Contiene opere latine e greche in varie traduzioni, poesie e trattati medievali, fino ai romanzi dell'Ottocento, canzoni e filastrocche. Ogni opera è importata, formattata, editata e riletta dagli utenti
- **Wikibooks:** manuali originali di ogni genere, dai ricettari agli spartiti, dalle guide per il giardinaggio all'elettronica fai da te
- **Wikispecies:** il catalogo tassonomico delle specie viventi. Per ragioni di spazio è scorporato da Wikipedia
- **Wikiversità:** appunti, lezioni e altro materiale didattico condiviso e scambiato da studenti universitari
- **Wikivoyage:** guide turistiche redatte dagli utenti. Dati, itinerari, foto, suggerimenti di ogni tipo e per ogni tipo di viaggio
- **Wikidata:** tra i più recenti, nato nel 2013. raccoglie dati di ogni tipo citandone le fonti: numeri, statistiche, tabelle, grafici costantemente aggiornati.

Allegato D

Relatività ristretta

Da Wikipedia, l'enciclopedia libera.

La **teoria della relatività ristretta** (o **relatività speciale** - **RS**) è una estensione ed una riformulazione delle leggi della meccanica classica necessarie per descrivere gli eventi che occorrono ad alte energie e a velocità prossime a quella della luce. La teoria della relatività speciale fu sviluppata da Albert Einstein nel 1905, come soluzione al disaccordo fra la meccanica classica e i risultati dell'esperimento di Michelson-Morley, che mostravano l'invarianza della velocità della luce nel vuoto misurata in diversi sistemi di riferimento inerziali.

Nell'universo descritto dalla relatività speciale, le misure di intervalli temporali e di lunghezze spaziali effettuate da osservatori inerziali non corrispondono necessariamente fra loro, dando luogo a fenomeni come la dilatazione del tempo e la contrazione delle lunghezze. L'interpretazione relativistica di questi fenomeni permise di riunire lo spazio tridimensionale e il tempo in una unica entità quadridimensionale unificata chiamata cronotopo o spazio-tempo. Le trasformazioni corrispondenti ad un cambio di sistema di riferimento in questo spazio sono le trasformazioni di Lorentz, che si riducono solo nel limite di basse velocità alle trasformazioni di Galileo della meccanica newtoniana.

La teoria della relatività ristretta si basa su due postulati formulati in accordo con gli esperimenti:

- *Primo postulato*: le leggi della meccanica, dell'elettromagnetismo e dell'ottica sono le stesse in tutti i sistemi di riferimento inerziali.
- *Secondo postulato*: la luce si propaga nel vuoto a velocità costante **c** indipendente dallo stato di moto della sorgente o dell'osservatore.

Il primo postulato è noto anche con il nome di *principio di relatività speciale*, mentre il secondo può essere messo in relazione con la validità del *principio di causa-effetto*. La riscrittura della leggi della fisica sulla base di questi postulati portò una radicale svolta nella visione della natura dell'universo anche al di fuori del contesto scientifico, l'equazione $E=mc^2$ della teoria della relatività è divenuta ad esempio molto nota anche nella cultura popolare.



Francobollo dell'URSS celebrante Einstein e la sua famosa formula

$$E = mc^2.$$

Indice

- 1 Storia
 - 1.1 La meccanica classica e lo spazio e il tempo assoluti
 - 1.2 La teoria dell'elettromagnetismo e le contraddizioni con la meccanica
 - 1.3 Formulazione e crisi del concetto di etere
 - 1.4 La soluzione di Einstein
- 2 Postulati della relatività ristretta e conseguenze
 - 2.1 Simultaneità

- 2.2 Trasformazioni tra sistemi di riferimento
 - 2.3 Osservazioni
- 3 Conseguenze cinematiche
 - 3.1 Effetti sul tempo
- 4 Cinematica e dinamica relativistiche
 - 4.1 Cinematica
 - 4.1.1 Legge di trasformazione degli angoli
 - 4.1.2 Legge di composizione delle velocità
 - 4.2 Dinamica
 - 4.3 Energia
- 5 Paradossi relativistici
- 6 Conferme sperimentali
- 7 Note
- 8 Bibliografia
- 9 Voci correlate
- 10 Altri progetti
- 11 Collegamenti esterni

Storia

La meccanica classica e lo spazio e il tempo assoluti

La fisica classica newtoniana pre-relativistica postula l'esistenza dello spazio e del tempo assoluti, che hanno cioè proprietà determinate indipendentemente dal sistema di riferimento utilizzato e in cui la misurazione di lunghezze spaziali e intervalli temporali fornisce gli stessi risultati uguali in qualunque sistema di riferimento. Allo stesso modo, in meccanica classica, due eventi simultanei in un sistema di riferimento (cioè con la stessa coordinata temporale) lo sono in ogni sistema di riferimento inerziale. In particolare, il principio della relatività galileiana presuppone l'esistenza di sistemi di riferimento inerziali rispetto ai quali sono validi i tre principi della dinamica di Newton e legati fra loro attraverso le trasformazioni di Galileo. Un esempio di sistema di riferimento inerziale può essere identificato con quello delle "stelle fisse".^[1]

La teoria dell'elettromagnetismo e le contraddizioni con la meccanica

La teoria dell'elettromagnetismo, elaborata dalle equazioni di Maxwell, ottenne nel XIX secolo eccellenti e numerose conferme in campo sperimentale ma si trovò ad affrontare una contraddizione di fondo rispetto alla meccanica newtoniana. Infatti, le equazioni di Maxwell non sono invarianti in forma rispetto al gruppo delle trasformazioni di Galileo: in altre parole, secondo la relatività galileiana due osservatori inerziali relativo avrebbero dovuto usare equazioni diverse per descrivere gli stessi fenomeni elettromagnetici.

La principale contraddizione tra queste due teorie risiede nella determinazione della velocità della luce. Infatti, la teoria di Maxwell prevede che il campo elettrico e magnetico si propaghino nello spazio vuoto ad una velocità finita e costante:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

dove c è la velocità della luce, ϵ_0 è la costante dielettrica del vuoto e μ_0 è la permeabilità magnetica del vuoto. Questo è apertamente in contrasto con la relatività galileiana, nella quale non è possibile che un osservatore fermo rispetto al mezzo nel quale si propaga un'onda elettromagnetica misuri la stessa velocità di propagazione rispetto ad un osservatore in moto rispetto al medesimo mezzo: secondo la relatività galileiana infatti la velocità misurata da un osservatore in moto deve rispettare la legge di trasformazione delle velocità di Galileo.

Formulazione e crisi del concetto di etere

Per risolvere questi problemi si postulò che la propagazione del campo elettromagnetico avvenisse in un sistema di riferimento privilegiato e assoluto^[2], solidale con quello che venne chiamato etere e che costituiva il mezzo di propagazione delle onde elettromagnetiche^[3]. Questo mezzo doveva avere delle caratteristiche molto particolari come, per esempio, permeare tutto lo spazio senza offrire nessuna resistenza meccanica al moto dei corpi che si muovevano immersi in esso.

Iniziarono quindi degli esperimenti che tentarono di provare l'esistenza dell'etere, di testarne le proprietà e di misurarne la velocità rispetto alla Terra. Questi esperimenti si rivelarono però in contrasto con le teorie che ammettevano l'esistenza dell'etere.

Dovevano quindi esistere esperimenti di EM (elettromagnetismo) in grado di mostrare lo stato di moto del sistema di riferimento rispetto all'etere, assoluto (infatti le equazioni di Maxwell dovevano valere solo nell'etere). Tuttavia l'esperimento di Michelson-Morley mostrò che, entro il limite dell'errore di misura, la velocità del sistema di riferimento terrestre era nulla rispetto all'etere (infatti i cammini della luce in direzione parallela e perpendicolare alla velocità terrestre risultavano uguali), e ciò era verificato anche ripetendo l'esperimento 6 mesi dopo, con la Terra in moto in direzione opposta rispetto a un sistema solidale col Sole.

Il "fallimento" dell'esperimento di Michelson (il cui scopo era effettivamente la ricerca dell'etere e non la dimostrazione della sua non rilevabilità) portava a due ipotesi: la prima prevedeva che l'etere fosse trascinato dalla Terra e che quindi la Terra fosse un sistema di riferimento privilegiato e assoluto, la seconda che l'etere effettivamente non avesse esistenza fisica. La prima ipotesi venne scartata in quanto pensare la Terra come sistema di riferimento assoluto nell'universo era inammissibile dopo secoli di scienza galileiana, che aveva confermato il principio di relatività alla base della descrizione della realtà fisica. Inoltre, anche la prospettiva di modificare le equazioni di Maxwell per renderle invarianti non dava risultati, in quanto Hippolyte Fizeau mostrò che queste fornivano risultati in disaccordo con l'esperimento di trascinamento della luce nell'acqua in movimento: la composizione delle velocità non veniva rispettata dalla luce.

Era allora chiaro che se la teoria dell'EM era corretta, le misure di EM non potevano mostrare alcuna velocità rispetto all'etere. Allora occorreva trovare delle nuove trasformazioni con le quali sostituire quelle di Galileo e di conseguenza modificare tutta la meccanica classica per renderla invariante rispetto a queste nuove trasformazioni. Così Einstein spiegava le sue perplessità:



Un interferometro Michelson

L'esperimento originale utilizzò più specchi di quelli mostrati, la luce veniva riflessa avanti e indietro diverse volte prima di ricombinarsi.

« Presi in esame l'esperimento di Fizeau, e quindi cercai di affrontare i problemi connessi, nell'ipotesi che le equazioni di Lorentz relative all'elettrone valessero tanto nel caso di un sistema di riferimento definito rispetto ai corpi in moto, quanto nel caso di un riferimento definito nel vuoto. Ad ogni modo, allora ero certo della validità delle equazioni di Maxwell-Lorentz nell'ambito dell'elettrodinamica. Per di più tale esperimento ci chiariva le conseguenze della cosiddetta invarianza della velocità della luce che quelle equazioni dovrebbero implicare anche in riferimenti in moto.

Questa invarianza della velocità della luce, tuttavia, era in contrasto con la legge di addizione delle velocità, ben nota in meccanica. Ebbi molta difficoltà a capire quale fosse la natura del contrasto. »

La strada era lunga ma concettualmente semplice. Per questo motivo, Einstein non considerò mai la relatività speciale come un punto d'onore: disse invece che chiunque vi sarebbe prima o poi giunto, solo considerando le evidenze sperimentali.^[4]

La soluzione di Einstein

Nel 1905, in un lavoro dal titolo "Sull'elettrodinamica dei corpi in movimento" Albert Einstein espone una teoria che, al posto di introdurre un sistema privilegiato, richiedeva la revisione dei concetti di spazio e tempo della fisica classica, introducendo nuovi postulati. Questa teoria è la relatività ristretta. Il primo postulato stabilisce la covarianza delle leggi dell'elettromagnetismo e della meccanica in tutti i sistemi di riferimento, mentre il secondo stabilisce che la velocità della luce nel vuoto è la stessa in tutti i sistemi di riferimento.

Il titolo originale del lavoro di Einstein sarebbe dovuto essere *teoria degli invarianti*, proprio a sottolineare la ricerca di leggi ed equazioni che non cambiavano forma nel passaggio tra sistemi di riferimento in moto relativo. Fu Max Planck a suggerire la parola *relatività*, per indicare la soggettività delle descrizioni dei fenomeni fisici rispetto a osservatori in moto *relativo* tra loro.

Questa teoria risultò essere un'estensione della meccanica classica, che è contenuta nella relatività ristretta e può essere ritrovata se le velocità prese in considerazione sono molto inferiori a quella della luce. La perdita dei concetti di spazio e tempo assoluti ha conseguenze apparentemente contraddittorie o lontane dall'esperienza e dal senso comune, come la contrazione relativistica delle lunghezze, la dilatazione dei tempi o il paradosso dei gemelli. Tutti questi fenomeni, spiegati dalla relatività ristretta, sono in contrasto con il senso comune proprio perché richiedono velocità molto elevate (prossime a quelle della luce) per essere apprezzati; le esperienze di tutti i giorni, invece, avendo a che fare con velocità relativamente molto inferiori, possono essere spiegate efficacemente dalla fisica classica.

Inoltre, mentre nella meccanica classica lo spazio ed il tempo sono trattati come entità sostanzialmente distinte, la relatività introduce il concetto di spaziotempo in cui spazio e tempo sono indissolubilmente legati tra di loro (nella meccanica classica è invece possibile considerare il tempo indipendentemente dallo spazio, e viceversa).^[5]

Postulati della relatività ristretta e conseguenze

L'articolo di Einstein del 1905 rifonda la fisica classica a partire da due postulati, singolarmente desunti dall'esperienza ma che sono tra di loro inconciliabili all'interno degli schemi teorici classici:^[6]

- Primo postulato (principio di relatività *particolare*^[7]): tutte le leggi fisiche sono le stesse in tutti i sistemi di riferimento inerziali;
- Secondo postulato (invarianza della velocità della luce): la velocità della luce nel vuoto ha lo stesso

valore in tutti i sistemi di riferimento inerziali, indipendentemente dalla velocità dell'osservatore o dalla velocità della sorgente di luce.

Il primo postulato è un'estensione di quello di Galilei, mentre il secondo postulato deriva da quanto ricavato dalle equazioni di Maxwell, secondo le quali la velocità della luce dipende da valori costanti relativi al mezzo di propagazione e non al moto relativo dei sistemi di riferimento.

In realtà, come ha spiegato successivamente Einstein,^[7] l'unico principio della teoria della relatività può essere considerato in effetti proprio il principio di *relatività*, o *indipendenza* delle leggi, in quanto l'invarianza della velocità della luce ne è una conseguenza (secondo la teoria elettromagnetica della luce, infatti, la velocità di c è data proprio da una legge ben definita).

Il postulato di relatività ovviamente esclude il concetto di etere, non solo come mezzo che trasmette la luce (sostituito dal campo elettromagnetico), ma anche come riferimento assoluto; da questo consegue che, se ogni osservatore inerziale può dire a ragione di essere fermo rispetto ad un ipotetico etere, cade definitivamente il concetto di spazio assoluto.

Simultaneità

Allo stesso tempo anche il concetto di *simultaneità* perde la sua assolutezza; infatti, se la velocità della luce è finita ed è la stessa per ogni osservatore, due eventi simultanei in un sistema inerziale non lo sono più se osservati da un altro sistema inerziale in moto rispetto a quello.

Se la luce emessa da due lampadine (chiamiamole A e B) equidistanti da un osservatore **O**, fermo rispetto ad esse, lo raggiungerà allo stesso istante, allora O considererà i due eventi come simultanei.

Un osservatore **O'** in un diverso stato di moto, ovvero in un sistema di riferimento inerziale in moto rettilineo uniforme rispetto a quello in cui O, A e B sono fermi, in generale percepirà la luce delle due lampadine in istanti diversi. Anche la meccanica classica prevede che la luce abbia una velocità finita, dunque che a seconda della posizione di un osservatore l'informazione luminosa di due eventi distanti *simultanei* possa giungere prima o dopo.

Nell'ambito della meccanica classica, però, tutto si deve risolvere svolgendo gli opportuni calcoli che tengano nel debito conto la distanza dagli eventi e la velocità della luce: l'osservatore **O'**, sapendo di essere (ad esempio) più vicino ad A che a B, calcolando il tempo che intercorre tra il momento in cui riceve l'impulso luminoso di A e quello di B, e conoscendo le distanze relative e la velocità della luce, dovrebbe concludere che "in realtà" gli eventi erano contemporanei. Per fare un altro esempio, se noi vedessimo un semaforo accendersi a pochi metri da noi e, circa otto minuti dopo, vedessimo il Sole diventare blu, pur avendo percepito in istanti diversi la luce dei due eventi, concluderemmo secondo la meccanica classica (sapendo che la luce del Sole impiega proprio 8 minuti per giungere sulla Terra) che i due eventi sono avvenuti nel medesimo istante.

Ciò non risulta valido nell'ambito della Relatività speciale. Se **O'** è in moto rispetto a O, A e B (ad una velocità sufficientemente alta da apprezzare gli effetti relativistici), anche tenendo nel debito conto come precisato sopra gli effetti della velocità della luce dovrà concludere (ad esempio) che A precede B. Un altro osservatore **O''**, con stato di moto opposto, dovrà invece concludere che B precede A.

La situazione è apparentemente paradossale, a causa della concezione "classica" dell'esistenza di un tempo assoluto, uguale per tutti i sistemi di riferimento. Venendo a mancare questo, sostituito dallo spazio-tempo relativistico, la simultaneità di due eventi distanti risulta essere legata allo stato di moto dell'osservatore di tali eventi, e non più assoluta.

Questa situazione si verifica soltanto per eventi tra i quali intercorre un intervallo di tipo spaziale, tali cioè che è impossibile per un raggio di luce (o per qualcosa di più lento) essere presente ad entrambi gli eventi: nell'esempio delle lampadine, in effetti, se esse sono distanti tra loro d , e la loro accensione risulta contemporanea per un osservatore fermo rispetto ad esse, un raggio di luce non potrà essere presente sia all'accensione di A che a quella di B, avendo velocità finita.

Le coppie di eventi per i quali invece la luce (o qualcosa di più lento) può presenziare ad entrambi, sono dette separate da un intervallo di tipo temporale: questi eventi saranno visti da tutti gli osservatori, qualunque sia il loro stato di moto, nello stesso ordine cronologico (anche se l'intervallo di tempo potrà apparire più breve o più lungo ai diversi osservatori). Per queste coppie di eventi sussiste dunque una definita relazione cronologica di prima/dopo, indipendente dall'osservatore.

Trasformazioni tra sistemi di riferimento

A partire dai due postulati ammessi da Einstein, che come si è visto erano incompatibili con la descrizione fisica offerta dalla fisica classica, si trattò di definire le nuove trasformazioni che permettessero di passare da un sistema di coordinate ad un altro in moto relativo.

Trasformazioni di questo genere, che hanno come caratteristica l'invarianza delle equazioni di Maxwell, erano già note come trasformazioni di Lorentz (TL), dal nome del fisico olandese Hendrik Lorentz che le aveva formulate nel 1897 proprio per spiegare i risultati dell'esperimento di Michelson. Egli infatti riteneva che la rilevazione dei fenomeni fisici fosse intrinsecamente falsata da una contrazione delle lunghezze e una dilatazione dei tempi che rendeva impossibile l'osservazione dell'etere, e questo era il vero motivo del fallimento dell'esperimento di Michelson. In altri termini, Lorentz aveva formulato le trasformazioni della relatività ristretta mantenendo però come valido il concetto di etere e attribuendole a un difetto di osservabilità della natura stessa. La teoria di Einstein diede invece pieno significato e applicazione alle trasformazioni di Lorentz, inserendole nel quadro teorico più ampio della relatività ristretta, all'interno della quale queste risultano come conseguenza delle premesse teoriche stesse.

L'introduzione (o meglio, l'applicazione) delle trasformazioni di Lorentz permette di ridefinire il postulato di Einstein nella forma: «Le leggi della fisica sono invarianti rispetto alle trasformazioni di Lorentz (nel passaggio da un sistema inerziale a un altro, scelto arbitrariamente)».^[7]

Rimandando alla voce specifica per i dettagli, è importante comunque osservare che:

- le TL non trattano separatamente il tempo e lo spazio, ma che questi vengono invece correlati tra loro;
- tali nuovi effetti dipendono da un termine β definito come $\beta^2 = v^2 / c^2$ (dove v è la velocità del corpo e c è la velocità della luce). Tale termine diventa trascurabile per velocità non confrontabili con quelle della luce;

- Viene anche definito per comodità il termine $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}$, detto fattore di Lorentz, dove

$$\beta = \frac{v}{c};$$

- al limite di piccole velocità, le TL si riducono alle già note di Galileo, spiegando perché negli esperimenti di meccanica classica non si possano misurare differenze.

$$\lim_{v \rightarrow 0} \gamma = 1$$

$$\lim_{v \rightarrow c} \gamma = \infty$$

Come diretta conseguenza, le TL portano a due importanti modifiche, poiché introducono il concetto di relatività in grandezze normalmente considerate assolute:

■ Contrazione delle lunghezze

- La lunghezza L di un corpo in movimento non è invariante, ma subisce una *contrazione* nella direzione del moto, data dalla formula

$$L = \gamma^{-1} L_0 = L_0 \times \sqrt{1 - \beta^2}$$

- La lunghezza massima del corpo L_0 è misurata nel sistema in cui il corpo è in quiete e viene chiamata *lunghezza propria*.

■ Dilatazione dei tempi



Per approfondire, vedi **Dilatazione del tempo**.

- L'intervallo di tempo Δt tra due eventi non è invariante, ma subisce una dilatazione se misurato da un orologio in moto rispetto agli eventi. Tale dilatazione è data dalla formula

$$\Delta t = \gamma \Delta t_0 = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

- La durata minima dell'intervallo di tempo è misurata da un orologio solidale con gli eventi; tale intervallo Δt_0 viene chiamato *tempo proprio*.
- Si noti come in entrambi i casi le formule si riducano all'uguaglianza per velocità piccole rispetto a c (velocità della luce). Si noti come questo limite, chiamato *limite classico*, possa essere concettualmente ottenuto sia per v piccolo che per $c \rightarrow \infty$; infatti, una velocità infinita della luce, significa poter stabilire una simultaneità assoluta e quindi un ritorno alla visione classica. Il limite classico è una condizione necessaria della teoria, poiché per piccoli valori di β gli effetti relativistici non devono essere misurabili, per rendere conto dell'ottimo accordo sperimentale della visione classica. In questo senso, la teoria einsteiniana è una generalizzazione alle alte velocità della fisica di Newton.

Confrontando le due formule, si nota che "dove lo spazio si contrae, il tempo si dilata; e, viceversa, dove il tempo si contrae, lo spazio si dilata", come affermava Einstein. La relazione diventa più evidente se si risolvono le due equazioni rispetto a γ , da cui si ottiene:

$$\frac{\Delta t}{\Delta t_0} = \frac{L_0}{L}$$

Alle alte velocità (v sempre più prossimo alla velocità della luce c), la contrazione spaziale accorcia le lunghezze, tanto da renderle tendenti a zero, mentre la dilatazione temporale tende all'infinito. Ciò equivale ad affermare che alla velocità della luce il tempo "non passa".

La dilatazione del tempo in particolare impone la velocità della luce come limite massimo raggiungibile (discutendo il denominatore diverso da zero).

Velocità superiori a quelle della luce porterebbero all'ulteriore problema di un radicando negativo, e di un radicale (misura di L e T) numero immaginario: il problema è che per i numeri complessi e immaginari non è possibile creare un ordinamento e non ha senso parlare di misure fisiche. Tuttavia, esiste una definizione matematica di spaziotempo che ammette un termine spaziale o uno temporale immaginario.

Osservazioni

- Nessun corpo massivo può assumere velocità uguali o superiori a c ; le trasformazioni di Lorentz per $v \geq c$ non sono definite (i valori sotto radice diventano nulli o negativi). Il valore nullo non è accettabile, in quanto compare nel denominatore delle formule: un corpo può essere accelerato in tempo finito solo ad una frazione della velocità della luce minore di 1. I corpi senza massa materiale, come i fotoni stessi, viaggiano sin dalla loro emissione alla velocità della luce. Da ciò si può dedurre che qualsiasi elemento di massa zero, si muoverebbe alla velocità della luce. Eventuali particelle più veloci della luce (dette tachioni) non potrebbero invece *rallentare* al di sotto della velocità della luce.
- La contrazione delle lunghezze non deve essere vista come se il metro variasse la sua dimensione o come se l'orologio segnasse un tempo diverso. Le misure infatti saranno differenti solo se effettuate da un altro osservatore in moto relativo: la lunghezza del proprio metro e la durata del proprio minuto è la stessa per tutti gli osservatori. C'è da specificare, inoltre, che il restringimento della lunghezza secondo la teoria della relatività ristretta avviene soltanto nella direzione di avanzamento, e sia lo scorrere più lento del tempo, sia il restringimento dello spazio, si verificano contemporaneamente.
- La teoria ammette questi effetti come conseguenza della peculiarità di c e del moto relativo e quindi come conseguenza del nostro modo di guardare le cose. La lunghezza propria è la più grande fra tutte le lunghezze relative ai punti di vista, ma non per questo è più reale delle altre. Sarebbe come notare che più lontani siamo da un oggetto e più piccolo questo ci sembra: niente ci può dire se l'oggetto si rimpicciolisce veramente o se sia un effetto della distanza. Non ha quindi senso domandarsi se si tratti di un fenomeno reale o apparente. Inoltre la persona che ipoteticamente sperimentasse la contrazione dello spazio, non avrebbe la sensazione di sentirsi ristretta, in quanto il suo sistema di misurazione rimarrebbe lo stesso poiché anch'esso coinvolto nella stessa contrazione (Il suo metro sarebbe sempre lungo 1 metro, il centimetro uguale etc..)
- Le trasformazioni di Lorentz trattano il tempo alla stregua di una qualunque coordinata spaziale; dato che un evento può essere sempre individuato tramite la sua posizione nello spazio e lungo l'asse temporale, il formalismo relativistico può essere formulato in uno spazio a 4 dimensioni (spazio-tempo) di Minkowsky, nel quale le prime 3 coordinate coincidono con le normali coordinate spaziali e la 4 è rappresentata dal tempo. Un evento è individuato quindi dai 4 numeri $(\mathbf{r}, ct) = (x, y, z, ct)$. In generale, nella teoria della relatività ad avere valore assoluto non sono le misure delle distanze nello spazio o gli intervalli di tempo, quanto la *separazione* (distanza pseudoeuclidea) fra gli *eventi* (i punti dello spazio-tempo quadridimensionale). Le trasformazioni di Lorentz sono le trasformazioni lineari che connettono fra loro sistemi diversi di coordinate spazio-temporali lasciando invariata la separazione spazio-temporale fra ogni coppia di eventi.

Conseguenze cinematiche

Effetti sul tempo

Come detto precedentemente, l'effetto principale è la mancanza di accordo tra osservatori diversi sulla simultaneità tra due o più eventi osservati dai rispettivi sistemi di riferimento.

Consideriamo due sistemi di riferimento inerziali R e R' e sia V la velocità lungo l'asse positivo delle x con cui R' si muove rispetto a R . In R' un emettitore luminoso, posto a metà strada tra due ricevitori distanti uno dall'altro $2L'$, emette un lampo di luce che per ragioni di simmetria, raggiunge i due rivelatori simultaneamente all'istante $t' = L'/c$.

L'osservatore in R invece sostiene che il lampo di luce arriva prima al rivelatore di sinistra e poi a quello di destra, perché deve percorrere meno strada verso sinistra in quanto il rivelatore gli viene incontro. Se $2L$ è la distanza misurata tra i due ricevitori, allora la luce raggiungerà il rivelatore di sinistra all'istante $t_s = L/(c + V)$, mentre raggiungerà quello di destra all'istante $t_d = L/(c - V)$.

Quanto detto comporta anche che due orologi perfettamente sincronizzati nel sistema R' , osservati *simultaneamente* da R non lo saranno più, ma quello a sinistra segnerà un orario maggiore di quello a destra; infatti la differenza si calcola facilmente ponendo una lampada in R' in posizione tale che illumini contemporaneamente i due orologi secondo il punto di vista dell'osservatore fermo in R . Questa lampada dovrà essere posta ad una distanza di $L'(c + V)/2c$ dall'orologio di sinistra, e di $L'(c - V)/2c$ da quello di destra. Allora la luce percorrerà un tragitto più lungo di $L'V/c$ andando verso l'orologio di sinistra, che segnerà quindi un orario maggiore di $L'V/c^2$ secondi rispetto a quello di destra.

Cinematica e dinamica relativistiche

Tutta la meccanica classica venne modificata per renderla invariante per trasformazioni di Lorentz, ottenendo risultati diversi dalla visione classica; è comunque sempre valido il limite classico. Basandosi sul fatto che per velocità piccole la dinamica di Newton fornisce risultati corretti, si può supporre che valgano anche in relatività le stesse grandezze, anche se alcune grandezze devono essere ridefinite per accordarsi con la relatività ristretta. In effetti si trova che le stesse leggi di Newton (principio d'inerzia, secondo principio e conservazione della quantità di moto) valgono ugualmente in meccanica relativistica, a patto di ridefinire alcune delle grandezze coinvolte.

È generalmente utilizzato, allo scopo di alleggerire la formulazione e creare degli invarianti per cambiamento di riferimento (quali erano il tempo e l'accelerazione in meccanica classica), un formalismo tensoriale che definisce le grandezze della cinematica non più grazie ai vettori in \mathbf{R}^3 , ma ai quadrivettori nello Spazio-tempo di Minkowski \mathbf{M} quadridimensionale. Data una nuova definizione di tempo proprio, uno scalare realmente indipendente dal sistema di riferimento e legato solo al moto del corpo studiato, si possono derivare, dalla posizione di un corpo nello spazio tempo, la sua quadrivelocità e quadriaccelerazione.

Cinematica

Chiamiamo $\vec{X} = (ct, x, y, z)$ il quadrivettore posizione che identifica la posizione della particella rispetto ad un sistema di riferimento inerziale (*sistema del laboratorio*), dove c è la velocità della luce, t la coordinata temporale e x, y , e z le coordinate spaziali. Differenziando abbiamo:

$$d\vec{X} = (cdt, dx, dy, dz)$$

Definiamo tempo proprio il tempo che misurerebbe un orologio posto su una particella in moto vario nello spaziotempo come se si muovesse di moto rettilineo uniforme. In simboli ($|\mathbf{X}|$ indica la norma di Minkowsky):

$$d\tau := \frac{1}{c} |d\vec{X}| = \frac{1}{c} \sqrt{c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2} = dt \sqrt{1 - \frac{1}{c^2} (v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)} = \frac{dt}{\gamma}$$

Il tempo proprio è una grandezza utile a parametrizzare la traiettoria di un corpo.

Definiamo anche il quadrivettore velocità come $\vec{U} = \frac{d\vec{X}}{d\tau}$ (*quadrivelocità*) e il quadrivettore

accelerazione $\vec{A} = \frac{d\vec{U}}{d\tau} = \frac{d^2 \vec{X}}{d\tau^2}$ (*quadriaccelerazione*). Possiamo quindi esprimere quadrivelocità e quadriaccelerazione in funzione delle ordinarie velocità \vec{v} e accelerazione \vec{a} come:

$$\begin{cases} U_0 = \gamma c \\ U_\alpha = \gamma v_\alpha \\ A_0 = \frac{\gamma^4}{c} \vec{v} \cdot \vec{a} \\ A_\alpha = \gamma^2 a_\alpha + \frac{\gamma^4}{c^2} (\vec{v} \cdot \vec{a}) v_\alpha \end{cases}$$

Di seguito sono riportati due casi notevoli, ottenuti applicando le trasformazioni di Lorentz.

Legge di trasformazione degli angoli

Si ricava che la nozione di parallelismo tra due rette è invariante, mentre non lo è quella di perpendicolarità. L'angolo tra due vettori è invariante solo se si trovano entrambi in un piano perpendicolare alla velocità relativa tra i due osservatori.

Legge di composizione delle velocità



Per approfondire, vedi *composizione delle velocità*.

Come diretta conseguenza delle trasformazioni di Lorentz, le velocità si compongono non come normali vettori (vedi regola del parallelogramma) ma in un modo diverso, che tiene conto dell'insuperabilità della velocità della luce. Se nel sistema S un corpo ha velocità \vec{u} , e il sistema S^* si muove di velocità $\vec{v} = (v, 0, 0)$, cioè parallela all'asse x del sistema S , la velocità \vec{u}' del corpo nel sistema S^* sarà data dalle seguenti formule:

$$\begin{cases} u'_x = \frac{u_x - v}{1 - \frac{v u_x}{c^2}} \\ u'_y = \frac{u_y}{\gamma(1 - \frac{v u_x}{c^2})} \\ u'_z = \frac{u_z}{\gamma(1 - \frac{v u_x}{c^2})} \end{cases}$$

Dinamica

Il quadrivettore \vec{P} **quantità di moto** (*quadrimpulso*) è definito, similmente alla meccanica newtoniana, come:

$$\vec{P} = m\vec{U}$$

dove m è la massa (*a riposo*) del corpo.^[8] La quantità di moto nel sistema di riferimento dell'osservatore diventa quindi:

$$\vec{P} = \gamma m \vec{v}$$

A causa del coefficiente γ la quantità di moto di un corpo tende a infinito quando v tende alla velocità della luce c . Analogamente, introducendo la *quadriforza* \vec{K} il secondo principio si esprime come

$$\vec{K} = m\vec{a}$$

oppure, ponendo $\vec{F} = \frac{\vec{K}}{\gamma}$ chiamata *forza relativa* (al sistema galileiano considerato):

$$\vec{F} = \frac{d\vec{P}}{dt}$$

Facciamo l'esempio di una particella sottoposta ad una forza costante come, per esempio, un elettrone sottoposto ad un campo elettrico costante. In teoria, secondo il senso comune, continuando a fornire ad esso energia, questo elettrone dovrebbe aumentare linearmente la sua velocità. Nella realtà però, per quanta energia continuiamo a fornirgli, questi elettroni non riusciranno mai a raggiungere la velocità della luce, come se ci fosse qualcosa che li frena. Continuando a fornire sempre la stessa energia, l'accelerazione risultante sarà sempre minore, così via sempre diminuendo. Ciò è ben spiegato dalla dinamica relativistica: chiamando "massa relativistica" il termine γm , è come se la massa inerziale dell'elettrone aumentasse con l'aumentare della velocità. A velocità prossime a quelle della luce, la massa relativistica tende all'infinito, rendendo così necessarie grandissime quantità di energia per ogni piccola accelerazione dell'elettrone. L'aumento della massa avviene a spese dell'energia fornita per accelerarlo, e la velocità della luce non può essere raggiunta, poiché occorrerebbe una forza infinita. La relazione tra le misure della massa in due sistemi inerziali diversi è data da: $m''' = \gamma(m - vp/c^2)$ mentre quella della quantità di moto è: $p' = p + v((\gamma - 1)vp/v^2 - m\gamma)$

Energia

Definendo l'**energia** E come $E = \gamma mc^2$ si dimostra facilmente il teorema dell'energia cinetica:

$$\frac{dE}{dt} = \vec{v} \cdot \vec{F}.$$

Espandendo l'energia E in serie di Taylor per piccoli $\frac{v}{c}$ otteniamo:

$$\begin{aligned} E &= \gamma mc^2 = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} mc^2 = \\ &= \left(1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} + \frac{3}{8} \frac{v^4}{c^4} + \dots \right) mc^2 = \\ &= mc^2 + \frac{1}{2} mv^2 + \frac{3}{8} m \frac{v^4}{c^2} + \dots \end{aligned}$$

L'energia, approssimata al second'ordine, risulta essere formata da una componente costante mc^2 dipendente solo dalla massa del corpo e dal termine $\frac{1}{2}mv^2$, uguale all'energia cinetica della meccanica newtoniana. L'energia E è quindi la naturale estensione dell'energia cinetica "classica". Questa formula, la più conosciuta della Fisica assieme alla 2ª Legge della Dinamica di Newton $\vec{F} = m\vec{a}$, dice in sostanza che l'energia può trasformarsi in massa e viceversa: in sintesi, energia e massa sono equivalenti.

Questo principio è quello che si verifica nella fissione nucleare, dove per esempio una massa di 10 grammi di uranio, si trasforma in 900.000 miliardi di joule di energia. Tale principio è usato nelle centrali nucleari per produrre energia, ed anche nelle bombe atomiche.

Paradossi relativistici

Le difficoltà nell'accettazione della teoria della relatività si manifestarono anche nella formulazione di alcuni esperimenti mentali, chiamati *paradossi relativistici*, in cui l'applicazione della relatività ristretta porta a conseguenze lontane dal senso comune, se non addirittura contraddittorie (da qui il nome "paradossi"). I paradossi relativistici vennero anche usati dai detrattori della relatività per dimostrare l'incoerenza della teoria stessa.

Alcuni paradossi in realtà non sono veramente tali dal punto di vista logico (ovvero non sono vere e proprie contraddizioni), ma sono soltanto delle previsioni fatte dalla teoria che risultano lontane dal senso comune, e quindi sono difficili da spiegare al di fuori di un ambito scientifico rigoroso.

Altri paradossi tendono invece a cercare contraddizioni interne alla teoria della relatività. Un famoso esempio è il paradosso dei gemelli, che deve il suo nome alla presentazione che ne fece il filosofo Herbert Dingle negli anni '50. Esso consiste nella situazione di due gemelli, uno dei quali compie un viaggio spaziale verso una stella per tornare quindi sulla Terra. Secondo Dingle, applicando i principi della relatività ristretta, si sarebbe dovuti giungere alla conclusione paradossale che ciascuno dei due gemelli, al ritorno del gemello che era partito, sarebbe dovuto essere *più vecchio* dell'altro. In realtà, questa situazione non può essere formalmente risolta all'interno della teoria della relatività ristretta ma solo dalla relatività generale, in quanto solo quest'ultima si riferisce anche ai sistemi di riferimento non inerziali (l'inversione della velocità dall'andata al ritorno della navicella implica infatti un'accelerazione); tuttavia, è possibile darne un'esauriente spiegazione anche nella relatività speciale, trascurando i momenti di accelerazione non nulla, senza giungere a conclusioni paradossali. Per questo motivo, anche questo non costituisce a tutti gli effetti un vero e proprio paradosso da un punto di vista logico, in quanto è possibile darne una spiegazione.



Per approfondire, vedi **Paradosso dei gemelli**.

Conferme sperimentali

La teoria della relatività speciale è oggi universalmente accettata. Gli effetti sulle lunghezze e sugli intervalli di tempo sono normalmente osservati sia in natura che nei laboratori dove particelle elementari sono accelerate a velocità vicine a quelle della luce.

Una prima conferma provenne dalla maggiore vita media dei pioni o dei muoni generati dai raggi cosmici nell'alta atmosfera terrestre: questi pioni e muoni vivono solo per circa 2 milionesimi di secondo, poi si trasformano in altre particelle. Muovendosi al 99% della velocità della luce, la distanza che dovrebbero percorrere si può calcolare in $300.000 \times 0,99 \times 2$ milionesimi = 0,6 km. Quindi, percorrendo solo 600 metri, dovrebbero decadere prima di arrivare sulla superficie della terra. Nella realtà essi arrivano fino al livello del mare, cosa che viene interpretata come un aumento della loro vita media a causa dell'alta velocità: rispetto ad un osservatore sulla superficie terrestre, la loro vita si allunga (perché il loro tempo scorre più lentamente), e sono quindi in grado di percorrere distanze più grandi di quelle attese.

L'equivalenza tra massa ed energia è confermata dal difetto di massa: due particelle legate tra loro hanno una massa totale minore della somma delle stesse particelle libere; la differenza di massa è dovuta al fatto che le particelle appartengono allo stesso sistema cinetico: nel caso opposto entrambe sommano alla loro massa inerziale quella cinetica.

Note

- [^] Questo non deve essere confuso con la relatività del moto, che segue dalla teoria di Galileo, ovvero il fatto che osservatori (sistemi di riferimento) diversi descrivano il moto in maniera diversa. A causa di questo carattere assoluto nella fisica classica gli intervalli di lunghezza e di tempo sono invarianti in ogni sistema di

riferimento.

2. ^ L'idea di un sistema di riferimento privilegiato era, comunque, in aperto contrasto con quanto trovato da Galileo e Newton, ossia che tutti i sistemi di riferimento inerziali fossero equivalenti poiché era possibile passare da uno all'altro tramite una trasformazione di coordinate.
3. ^ Un'altra caratteristica della luce e delle onde elettromagnetiche che le distingue dagli altri fenomeni ondulatori (come ad es. la propagazione del suono o la propagazione di un'onda in una corda) è che non necessita di un mezzo per la propagazione, ossia le onde EM si possono trasmettere anche nel vuoto.
4. ^ Abraham Pais, *La scienza e la vita di Albert Einstein*, Bollati Boringhieri, Torino, 1986, ISBN 978-88-339-1927-0, p. 45
5. ^ In pratica ciò corrisponde ad usare modelli matematici diversi nelle due teorie per descrivere lo spazio ed il tempo: in meccanica classica lo spazio è rappresentato da uno spazio euclideo tridimensionale fibrato sul tempo (rappresentato dalla retta reale). Invece nella relatività ristretta si ha una varietà euclidea quadridimensionale.
6. ^ «Secondo le regole di connessione del tempo e delle coordinate spaziali degli eventi, usate nella fisica classica, [...] le due ipotesi [della relatività ristretta] [...] sono fra loro incompatibili (anche se entrambe, prese separatamente, si basano sull'esperienza», in A. Einstein, *Autobiografia scientifica*, op. cit., pag. 36
7. ^ ^a ^b ^c A. Einstein, *Autobiografia scientifica*, op. cit., p. 36
8. ^ Storicamente, il termine "massa" venne usato per la quantità E/c^2 . Questa venne chiamata la "massa relativistica", e m era la "massa a riposo". Questa terminologia viene ora disincentivata in ambito scientifico, poiché non c'è bisogno di due termini per descrivere l'energia di una particella, e perché crea confusione quando si parla di particelle senza massa. In questo articolo, ci si riferisce alla *massa a riposo* ogni volta che si parla di "massa".

Bibliografia

- (DE) A. Einstein, *Zur Elektrodynamik bewegter Körper* in *Annalen der Physik* 17 (1905), pp. 891-921, trad. it. *Sull'elettrodinamica dei corpi in movimento*, in A. Einstein, *Opere scelte*, a cura di E. Bellone, Bollati Boringhieri, Torino, 1988, pp. 148-177
- (DE) A. Einstein, *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie (gemeinverständlich)*, *Vieweg, Braunschweig 1917*, trad. it. *Relatività: esposizione divulgativa*, in A. Einstein, *Opere scelte*, a cura di E. Bellone, Bollati Boringhieri, Torino, 1988, pp. 389-504
- A. Einstein, a cura di P. A. Schillp, *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, The Library of Living Philosophers, Evanston (Ill.), 1949, trad. it. A. Einstein et al., *Autobiografia scientifica*, Bollati Boringhieri, 1979 (riduzione)
- (EN) Edwin F. Taylor, John Archibald Wheeler (1992): *Spacetime Physics: Introduction to Special Relativity*, 2nd ed., W. H. Freeman & Co., ISBN 0-7167-2326-3
- (EN) Anadijiban Das (1996): *The Special Theory of Relativity: A Mathematical Approach*, Springer, ISBN 0-387-94042-1
- G. Vatinno, "Storia naturale del Tempo; l'effetto Einstein e la teoria della Relatività", Armando, ISBN:978-88-6677-600-0

Voci correlate

- Sull'elettrodinamica dei corpi in movimento
- $E=mc^2$
- Esperimento di Michelson-Morley
- Principio di relatività
- Relatività generale
- Spaziotempo
- Cinematica relativistica
- Trasformazioni di Lorentz

Altri progetti

-  **Commons** (<https://commons.wikimedia.org/wiki/?uselang=it>) contiene immagini o altri file su **relatività ristretta** (https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Special_relativity?uselang=it)

Collegamenti esterni

- (DE) *Zur Elektrodynamik bewegter Körper* (http://www.physik.uni-augsburg.de/annalen/history/einstein-papers/1905_17_891-921.pdf) Il testo originale dell'articolo pubblicato da Einstein nel 1905 sugli *Annalen der Physik*
- *L'elettrodinamica dei corpi in movimento* (http://diamante.uniroma3.it/hipparcos/relativit%C3%A0_ristretta.pdf) Traduzione in italiano dell'articolo pubblicato da Einstein nel 1905
- Corso di relatività ristretta (<http://www.fisicamente.net/DIDATTICA/RelatiTou.pdf>) di Bruno Touschek
- (EN) Animation demonstrating the theory of relativity (<http://www.youtube.com/watch?v=C2VMO7pcWhg>)
- (EN) A Special Relativity Simulator (<http://www.adamauton.com/warp>)
- *Relatività ristretta* in *Tesaurus del Nuovo Soggettario*, BNCF, marzo 2013.

Allegato E

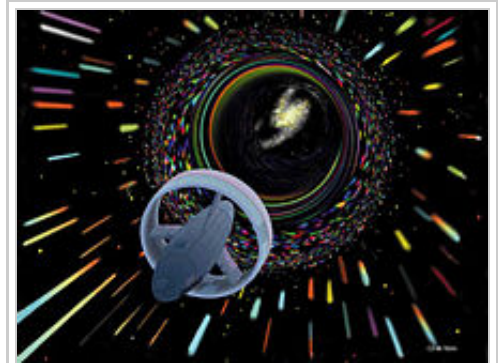
Velocità superluminale

Da Wikipedia, l'enciclopedia libera.

Una **velocità superluminale** (indicata in inglese come *Faster-than-light* o *FTL*) è una velocità che permette di propagare le informazioni o di spostare la materia ad una velocità superiore a quella della luce nel vuoto. Questo concetto è un punto cardine di molte opere del genere fantascientifico^{[1][2]} ma è generalmente considerato impossibile dalla comunità scientifica in virtù delle limitazioni imposte dalla teoria della relatività ristretta di Einstein.

Indice

- 1 Termini del problema
- 2 Possibilità di raggiungere velocità maggiori della luce
 - 2.1 Ignorare la relatività speciale
 - 2.2 Far andare più velocemente la luce (effetto Casimir)
 - 2.3 Rinunciare alla causalità
 - 2.4 Sviluppare la teoria della relatività
 - 2.5 Recarsi in un luogo spazio-temporale dove la velocità della luce non è un limite
 - 2.6 Aumentare la velocità senza accelerazione
 - 2.7 Considerare la velocità come una quantità complessa
 - 2.8 Curvare lo spazio
 - 2.9 Teoria di Heim
- 3 Tachioni
- 4 Neutrini
- 5 Velocità superluminali apparenti
 - 5.1 Velocità relativa
 - 5.2 Velocità di fase superiore a c
 - 5.3 Velocità di gruppo superiori a c
 - 5.4 Espansione dell'universo
 - 5.5 Moto superluminale astronomico
 - 5.6 Meccanica quantistica
- 6 Note
- 7 Voci correlate
- 8 Altri progetti
- 9 Collegamenti esterni



Rappresentazione d'artista di un ipotetico veicolo spaziale che viaggia inducendo un ponte di Einstein-Rosen (*Wormhole Induction Propelled Spacecraft*), liberamente basata sulla pubblicazione del 1994 di Miguel Alcubierre sulla propulsione ultraluce. Crediti: NASA CD-98-76634 by Les Bossinas.

Termini del problema

Nell'ambito di pertinenza di questa voce, l'espressione *velocità superluminale* si riferisce alla trasmissione di informazioni o di materia ad una velocità superiore a quella della luce nel vuoto (c), pari a 299 792,458 km/s. Bisogna comunque osservare che:

- alcuni processi si propagano più velocemente di c , ma non trasportano informazioni (vedi la sezione Velocità superluminali apparenti di seguito)
- la luce viaggia alla velocità di c/n quando non si trova nel vuoto ma sta attraversando un mezzo con indice di rifrazione pari ad n ; in certi materiali alcune particelle possono viaggiare più velocemente di c/n (ma sempre più lentamente di c), causando la cosiddetta radiazione Čerenkov.

Nessuno di questi fenomeni viola i principi della relatività ristretta o crea problemi con il principio di causalità, e di conseguenza non può essere qualificato superluminale come sopra descritto.

Possibilità di raggiungere velocità maggiori della luce

La possibilità di viaggiare o comunicare a velocità superluminali è un problema in un universo che accetti la teoria della relatività di Einstein. In un ipotetico universo in cui i principi della dinamica di Newton e le trasformazioni galileiane fossero leggi esatte, invece che approssimazioni, sarebbe vero ciò che segue.

- Le leggi della fisica sarebbero le stesse in ogni sistema di riferimento che si muovesse uniformemente, ma alcune leggi dovrebbero includere parametri contenenti la velocità del sistema di riferimento.
- Quantità misurate in diversi sistemi di riferimento sarebbero collegate da trasformazioni galileiane, ma per certe quantità questo tipo di trasformazioni sarebbe complesso.
- Nel caso di accelerazioni (forze) costanti le velocità aumenterebbero linearmente.
- Un punto fisso x in un sistema di riferimento corrisponderebbe alla traiettoria $x-vt$ in un sistema di riferimento che si muovesse ad una velocità v relativamente al primo.
- Tempo e spazio sarebbero concetti assoluti e perciò tutti gli osservatori si troverebbero d'accordo sulla simultaneità di due eventi.

Comunque, in accordo con la teoria della relatività ristretta, ciò che noi misuriamo come la velocità della luce nel vuoto è in effetti la costante fisica c . Questo significa che tutti gli osservatori, a prescindere dalla loro accelerazione o dalla loro velocità relativa, misureranno sempre la velocità delle particelle senza massa (ad esempio gravitoni e fotoni) come pari a c . Questo risultato significa che le misurazioni di tempo e di velocità in diversi ambiti non sono più collegati da semplici differenze costanti, ma sono invece legate da trasformazioni di Poincaré. Questo ha una serie di importanti conseguenze.

- La massa aumenta con la velocità, e alla velocità della luce un oggetto avrebbe massa infinita.
- Per accelerare un oggetto avente massa maggiore di zero a c sarebbe necessario una accelerazione finita per un infinito periodo di tempo, o una accelerazione infinita per un limitato periodo di tempo.
- In entrambi i casi comunque tale accelerazione richiederebbe una quantità infinita di energia. Oltrepassare la velocità della luce in uno spazio omogeneo richiederebbe perciò un'energia più che infinita, concetto che non è sensato.
- Osservatori in movimento relativo tra loro non potrebbero trovarsi d'accordo su quale di due eventi avvenuti in differenti posizioni si sarebbe svolto prima. In altre parole, ogni viaggio a velocità superiori a quelle della luce per alcuni sistemi di riferimento inerziale procederà indietro nel tempo secondo altri, ugualmente validi, sistemi di riferimento.

Per questi motivi, solo un numero limitato di soluzioni potrebbero giustificare velocità superiori a quelle della luce. Per una particella avente massa reale non nulla, o velocità iniziale $< c$, non è possibile viaggiare a velocità superluminali. Quindi la velocità della luce non è propriamente un limite per un

punto materiale, se questo ha una velocità iniziale pari a c .

Ignorare la relatività speciale

Questa soluzione sembra semplice ed è una delle più popolari nell'ambito della fantascienza. Tuttavia, tutte le evidenze sperimentali hanno dato ampio riscontro alla teoria della relatività ristretta come la più corretta descrizione applicabile agli spostamenti ad alte velocità. Alle basse velocità (inferiori ad un decimo di c) tale teoria può essere validamente semplificata e ricondotta ai principi dettati da Galileo. Allo stesso modo, la relatività generale è unanimemente riconosciuta come la teoria corretta per descrivere la gravità in relazioni a grandi masse e lunghe distanze. Sfortunatamente, la relatività generale non è valida per le piccole distanze e nel campo nei quanti. La relatività ristretta è facilmente incorporabile nella teoria quantistica dei campi non gravitazionali, ma si applica solamente ad un universo basato su uno spazio-tempo di Minkowski piatto. Il nostro universo in espansione però contiene livelli di energia che curvano lo spazio-tempo e forse perfino una costante cosmologica e di conseguenza non è uno spazio di Minkowski e non è, in particolare, costante di fronte a trasformazioni di Poincaré. Comunque anche considerando l'ambito della relatività generale una accelerazione a velocità superluminale non sembra essere possibile.

Far andare più velocemente la luce (effetto Casimir)

Le equazioni di Einstein della relatività speciale postulano che la velocità della luce sia uguale in ogni sistema di riferimento inerziale. Le equazioni non danno nessun valore specifico per la velocità della luce stessa. Tale velocità è stata determinata sperimentalmente.

Tali determinazioni sono state effettuate nel vuoto. Tuttavia il vuoto che noi conosciamo non è l'unico vuoto possibile. Il vuoto ha infatti una certa energia ad esso associata, chiamata energia del vuoto. Tale energia può essere in certi casi abbassata, e quando succede la luce può essere più veloce rispetto al suo standard. Tale vuoto, detto "vuoto di Casimir", può essere prodotto utilizzando due lastre di metallo perfettamente piatte e avvicinandole fino a una distanza dell'ordine del micrometro. A livello teorico, in tale situazione la velocità della luce aumenterebbe, anche se per ora non è possibile una verifica sperimentale di tale fenomeno, mentre l'effetto Casimir vero e proprio, ossia l'attrazione tra le lastre è stato misurato nel 2002^[3].

Le equazioni di Einstein della relatività speciale assumono implicitamente l'omogeneità: si assume che lo spazio sia ovunque uguale. Nel caso del vuoto di Casimir questo assunto è chiaramente disatteso. All'interno di tale vuoto avremmo uno spazio omogeneo, mentre all'esterno avremmo uno spazio altrettanto omogeneo. Le equazioni della relatività continuerebbero a funzionare all'interno del vuoto di Casimir con un valore di c modificato, mentre all'esterno continuerebbero ad utilizzare il valore ordinario. Tuttavia se consideriamo assieme i due ambiti, le equazioni della relatività ristretta non possono più essere applicate poiché l'assunzione di omogeneità non è più valida. In altre parole l'effetto Casimir dividerebbe lo spazio in due differenti regioni omogenee, ognuna delle quali obbedisce alle leggi della relatività ristretta separatamente.

Anche se questo tecnicamente può definirsi 'più veloce della luce', ciò vale solo relativamente a due regioni di spazio separate. Non è chiaro se un vuoto di Casimir sia stabile dal punto di vista della meccanica quantistica, né se una qualche comunicazione significativa sia possibile tra tale regione e l'esterno.

Ottenere che la luce si muova più velocemente non significa che si possa viaggiare più velocemente di essa, semplicemente con tale sistema viene incrementato il limite di velocità dal valore standard di circa 299.792 km/s.

Rinunciare alla causalità



Per approfondire, vedi ***Ponte di Einstein-Rosen***.

Un altro approccio al problema è quello di accettare le limitazioni della relatività speciale ma postulare che alcuni fenomeni previsti dalla relatività generale (ad esempio le *tarature spazio-temporali* o, in inglese, *wormhole*) consentano di viaggiare tra due punti diversi senza attraversare lo spazio tra di loro. In tal modo si aggirerebbe il problema dell'accelerazione infinita ma si andrebbe incontro a curve temporali chiuse che porterebbero come conseguenza a viaggi nel tempo e alla violazione del principio di causalità. Tale principio non è in effetti richiesto dalle teorie della relatività ma è comunque considerato una proprietà fondamentale dell'universo che non può essere abbandonata. Per tale motivo molti fisici si aspettano che la gravità quantistica precluda questa opzione. In alternativa si può ipotizzare che, anche nel caso in cui i viaggi nel tempo siano effettivamente possibili, questi non porterebbero mai a dei paradossi. Tale ipotesi è nota come principio di auto consistenza di Novikov.

Sviluppare la teoria della relatività

Grazie al grande riscontro sperimentale della relatività ristretta ogni modifica di tale teoria deve necessariamente essere molto sottile e difficile da dimostrare nella pratica. Uno dei più noti tentativi deriva dal lavoro del fisico italiano Giovanni Amelino-Camelia e di quello portoghese João Magueijo ed è la teoria della relatività doppiamente speciale. In essa si sostiene che anche la lunghezza di Planck sia la stessa in ogni ambito di riferimento. Una conseguenza di tale teoria è una velocità della luce variabile, dove la velocità dei fotoni varierebbe con il variare dell'energia e alcune particelle a massa zero potrebbero viaggiare più velocemente di c . Gli scienziati non sono comunque concordi sulla veridicità di tale teoria anche se alcuni la considerano una via possibile. In ogni caso, anche se la teoria fosse vera, non è chiaro se delle informazioni potrebbero essere comunicate a velocità superluminale, e sembra che particelle più grandi non potrebbero comunque superare c .

Alcune teorie speculano che l'inerzia di ogni sistema è il risultato dell'interazione del sistema stesso con il resto dell'universo (principio di Mach). In altre parole, ogni particella presente nel cosmo ha influenza su ogni altra particella. Di conseguenza alcune parti dell'universo potrebbero essere *favorite* da tale interazione. Se ciò fosse vero significherebbe che la relatività ristretta sarebbe una approssimazione di una teoria più generale. Tuttavia visto che un eventuale confronto dovrebbe essere fatto, per definizione, dall'esterno dell'universo osservabile, appare molto difficile anche immaginare un qualche esperimento che possa confermare tale eventuale teoria.

Recarsi in un luogo spazio-temporale dove la velocità della luce non è un limite

Nella fantascienza, una delle opzioni più popolari per oltrepassare il limite della velocità della luce è quella di immaginare l'esistenza di un luogo (tipicamente chiamato *iperspazio* o *subspazio*) accessibile dal nostro universo ed in cui le leggi della relatività sono distorte, alterate o inesistenti. Per giustificare la velocità di spostamento tra punti nell'*iperspazio*/*subspazio* solitamente si assume che la velocità della luce sia superiore a quella standard o che le leggi della relatività non si applichino del tutto. Un altro escamotage è quello di supporre che la distanza tra due punti nel normale spazio-tempo sia molto superiore a quella che intercorre tra i corrispondenti punti dell'*iperspazio*.

Questa opzione non trova riscontro nelle teorie scientifiche attualmente riconosciute, anche se non esistono neppure argomenti in senso contrario.

Aumentare la velocità senza accelerazione

Quando si pensa al raggiungere velocità superiori a quella della luce viene sempre fatta l'assunzione di dover in ogni caso prima raggiungere la velocità della luce e poi superarla. Raggiungere la velocità della luce comporta però la necessità di avere un'energia infinita come abbiamo visto in precedenza. Tuttavia potrebbe esistere un qualche sistema per cambiare istantaneamente la propria velocità senza dover passare attraverso tutti gli stati intermedi. L'energia richiesta per accelerare tocca un asintoto al raggiungimento della velocità della luce. Un oggetto che viaggia a velocità molto superiori ad essa potrebbe aver bisogno di un quantitativo di energia paragonabile a quello di un oggetto molto più lento della luce. La difficoltà sta nell'immaginare un sistema per muovere le particelle senza accelerarle. Tra l'altro anche gli esseri umani potrebbero utilizzare questo sistema in quanto l'inerzia è legata all'accelerazione e non alla velocità in sé.

Un tipo di acquisizione della velocità senza passare da una precedente accelerazione è relativo al processo di creazione delle particelle. A livello teorico sarebbe possibile modificare istantaneamente la velocità attraverso un processo controllato di annichilazione e successiva ricreazione di un oggetto ad una differente velocità. Una tecnologia di questo tipo per oggetti macroscopici sarebbe equivalente a creare una sorta di teletrasporto.

Un altro tipo di evento simile in natura è conosciuto come salto quantico (*quantum leap*), anche se ciò che viene variato istantaneamente sono gli stati energetici di un atomo.

Considerare la velocità come una quantità complessa

Uno stratagemma letterario ideato dalla scrittrice di fantascienza Catherine Asaro consiste nell'inserire all'interno delle equazioni della relatività speciale velocità che oltrepassano quelle della luce, una componente immaginaria. In tal modo sarebbe possibile determinare le condizioni necessarie per ottenere tali velocità. Secondo la Asaro, ciò sarebbe possibile per la velocità perché essa ha un componente immaginario oltre che la classica dimensione reale. Il nome dato a tale tipo di motore nei romanzi è *Inversion drive* (motore a inversione).

Curvare lo spazio

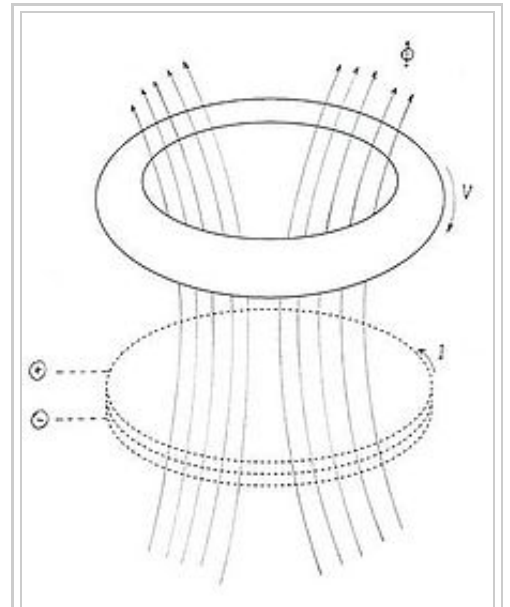
La teoria della relatività ristretta impedisce agli oggetti di avere una velocità relativa che superi quella della luce e che la relatività generale si approssima a quella speciale in ambito locale (piccole regioni dove la curvatura dello spazio-tempo è trascurabile). La relatività generale prevede e permette che lo spazio tra oggetti molto distanti possa aumentare a velocità superiori a quella della luce. Questo in quanto è l'espansione stessa dell'universo a far allontanare gli oggetti tra loro e non c'è un vero e proprio movimento degli stessi. Si pensa che le galassie distanti più di 14 miliardi di anni luce si allontanino da noi a velocità superiori a c .^[4]

Un fisico messicano, Miguel Alcubierre, ha teorizzato la possibilità di viaggiare nello spazio utilizzando una "bolla di curvatura" in cui lo spazio di fronte alla bolla viene contratto mentre quello dietro viene espanso. In tal modo sarebbe possibile muoversi più velocemente di un raggio di luce che viaggia all'esterno della bolla pur non infrangendo i limiti della relatività.^[5]

Il funzionamento del motore sopra descritto ricorda molto il motore a curvatura utilizzato nella serie di *Star Trek*.

Teoria di Heim

Questa teoria, tutt'altro che confermata, si basa su una visione rivoluzionaria dell'universo e delle sue leggi elaborata nella seconda metà del secolo scorso dal fisico tedesco Burkhard Heim. Essa, in seguito a recenti sviluppi apportati da Walter Dröscher e Jochem Häuser^[6], prevede l'esistenza di due ulteriori campi di forza che si aggiungono ai quattro noti dalla fisica delle particelle che, in presenza di un particolare dispositivo, possono dar luogo ad una sorta di campo anti-gravitazionale che potrebbe essere usato per spingere un veicolo nello spazio. In una particolare situazione di campo oscillante, lo stesso dispositivo che genera la spinta anti-gravitazionale sarebbe in grado di diminuire l'inerzia propria del veicolo eliminando così gli effetti della massa relativistica e consentendo al veicolo stesso di superare n volte la velocità della luce. Un'interpretazione di questo fenomeno viene data ipotizzando che il veicolo lasci il nostro spazio ordinario per entrare in una sorta di iperspazio in cui il valore di c è notevolmente superiore. Esso, come si può vedere dalla figura, è costituito da un grosso anello rotante di materiale conduttore (il cui rendimento è tanto maggiore quanto più alta è la sua conduttività) immerso in un potente campo magnetico Φ generato da una bobina sottostante l'anello. Per dar luogo agli effetti descritti occorre che le due forze "extra" previste dalla teoria interagiscano col campo gravitazionale generando la prima, detta gravito-fotonica, un campo antigravitazionale repulsivo e la seconda, detta quintessenza, in onore ai quattro elementi della filosofia greca e latina, la riduzione d'inerzia prima descritta. La rotazione del grosso volano conduttore dà luogo ad un'interazione tra campi elettro-magnetici e gravitazionali prevista dalla teoria di Heim e consente il fenomeno propulsivo descritto.



Schema del dispositivo antigravitazionale

Tachioni



*Per approfondire, vedi **Tachione**.*

Nella relatività speciale, mentre è impossibile per un oggetto accelerare fino alla velocità della luce o muoversi alla velocità della luce, non ci sono limitazioni al fatto che possa esistere qualcosa che sia sempre stato più veloce della luce. L'ipotetica particella elementare che ha questa proprietà è chiamata tachione. Curiosamente la velocità del tachione in base alla relatività non può mai scendere sotto c . La loro esistenza non è stata né provata né smentita, finora però i tentativi di quantizzarli hanno mostrato che non possono essere usati per comunicazioni a velocità superluminali.^[7] Comunque, poiché i tachioni hanno una massa a riposo immaginaria sono considerati non concreti.

I tachioni non contraddicono i due casi nei quali la relatività non ammette velocità superluminali: hanno una massa immaginaria e non devono essere accelerati alla velocità della luce, che è la loro velocità iniziale. Tuttavia, la relatività ristretta definisce energia e tempo su un semiasse positivo, escludendo che possano esservi particelle come i tachioni.

Neutrini

Il 22 settembre 2011, un documento^[8] prodotto dall'esperimento OPERA ha indicato la possibile rilevazione di neutrini muonici da 17 e 28 GeV, inviati attraverso la crosta terrestre lungo i 730 chilometri che separano il CERN di Ginevra dai Laboratori Nazionali del Gran Sasso, con una velocità superiore a quella della luce per un fattore 2.48×10^{-5} (circa 1 parte su 40.322,58), una statistica con significatività sigma pari a 6.0.^{[9][10][11][12][13][14][15]} Il risultato è in attesa di verifiche indipendenti da parte di altri esperimenti.

Si ritiene che l'anomalia misurata sia un artefatto sperimentale, dovuto a una connessione lasca di un collegamento da un cavo in fibra ottica proveniente da un ricevitore GPS: questo avrebbe causato un ritardo di 60 nanosecondi. Il serraggio del collegamento fa decrescere il ritardo lungo la linea a fibra ottica, annullando probabilmente il ritardo osservato^[16].

Velocità superluminali apparenti

Velocità relativa

Un osservatore può ritenere erroneamente che due oggetti si muovano ad una velocità superiore alla velocità della luce l'uno relativamente all'altro. Questo avviene quando tale osservatore utilizza incorrettamente i principi di Galileo per sommare la velocità.

Ad esempio, dal punto di vista di un osservatore esterno sembrerà che due particelle che si muovono a velocità prossime a quelle della luce in direzioni contrarie in un acceleratore di particelle circolare viaggino relativamente tra loro a poco meno del doppio della velocità della luce se utilizzano i principi galileiani. Utilizzando gli strumenti forniti dalla relatività ristretta ipotizzando, ad esempio che le particelle si muovano a velocità pari a β e $-\beta$ dove

$$\beta = v/c$$

e

$$-\beta = -v/c,$$

In questo caso dal punto di vista dell'osservatore la velocità relativa $\Delta\beta$ (sempre utilizzando come unità di misura la frazione di c) sarà

$$\Delta\beta = \frac{\beta - (-\beta)}{1 + \beta^2} = \frac{2\beta}{1 + \beta^2},$$

che è meno della velocità dalla luce.

Velocità di fase superiore a c

La velocità di fase di un'onda può, in alcune circostanze, superare la velocità della luce nel vuoto.^[17] Questo comunque non significa che ci sia propagazione di un segnale a velocità superiori a c . Nella maggior parte dei supporti ottici l'indice di rifrazione è superiore all'unità per tutte le lunghezze d'onda, perciò la velocità di fase è al di sotto della velocità della luce.

Velocità di gruppo superiori a c



*Per approfondire, vedi **Velocità di gruppo**.*

La velocità di gruppo di un'onda (ad esempio un raggio di luce) può facilmente superare c . Anche in questa situazione tuttavia non si verifica la propagazione di un segnale a velocità superiori a quella della luce.

Espansione dell'universo

L'espansione dell'universo provoca l'allontanamento delle galassie più lontane da noi a velocità superiori a quelle della luce. Questo avviene quando per calcolare la velocità di spostamento di tali galassie vengono utilizzate le coordinate comoventi e il tempo cosmologico.

Nella relatività generale, tuttavia, la velocità è un concetto locale, per cui il concetto di velocità utilizzando le coordinate comoventi non può essere messo in relazione alla velocità come normalmente intesa. In altre parole, le galassie (o per meglio dire i gruppi di galassie) non si muovono fisicamente le une dalle altre. Quello che avviene è che lo spaziotempo tra di loro si espande. Questo spiega anche il fenomeno inflazionistico immediatamente seguito al Big Bang, quando un universo cento miliardi di volte più piccolo di un protone si espanse fino alla grandezza di circa cento milioni di anni luce in appena 10^{-32} secondi.

Moto superluminale astronomico



*Per approfondire, vedi **Moto superluminale**.*

Un moto superluminale apparente può essere osservato in astronomia in molte radio galassie, blazar, quasar e recentemente anche in microquasar. Tale effetto era stato comunque previsto prima che fosse direttamente osservato. Può essere spiegato come un'illusione ottica che si crea quanto i calcoli di velocità relativi ad un oggetto che si muove verso di noi presumono che tale avvicinamento non ci sia. Il fenomeno quindi non è reale e non contraddice quindi la relatività ristretta. I calcoli corretti sulla velocità hanno dimostrato che tali oggetti si muovono comunque a velocità vicine a quelle della luce (relativamente a noi). Tali oggetti sono quindi un esempio concreto di oggetti dotati di una massa considerevole che si muovono a velocità notevolissime. Sulla terra gli esperimenti scientifici sono riusciti ad accelerare a tali velocità solamente delle particelle elementari.

Meccanica quantistica



*Per approfondire, vedi **Comunicazione superluminale**.*

Il principio di indeterminazione di Heisenberg implica che i singoli fotoni possono viaggiare per brevi distanze a velocità superiori (o inferiori) a c , anche nel vuoto; tale possibilità deve essere considerata quanto si enumerano i diagrammi di Feynman per l'interazione della particella. A livello aggregato comunque queste fluttuazioni si annullano a vicenda. In tal modo sulle lunghe distanze (non quantistiche) i fotoni finiscono per viaggiare effettivamente in linea retta e alla velocità della luce in media. Questo fatto perciò rende ancora più difficoltosa un'eventuale comunicazione a velocità superluminale sfruttando tali fenomeni.

La stampa ha più volte riportato successi di esperimenti concernenti trasmissioni a velocità superiori a quella della luce, spesso in relazione ad un qualche tipo di effetto tunnel quantistico. Nella maggior parte dei casi tali successi erano in relazione alla velocità di fase o alla velocità di gruppo. Questo tipo di

superamento della velocità della luce nel vuoto non può però, come abbiamo già visto essere utilizzata per trasmettere informazioni.

Alcuni fenomeni legati alla meccanica quantistica, come l'entanglement quantistico, sembrano trasmettere informazioni a velocità superiori a quella della luce. Tali fenomeni tuttavia finora non hanno mai permesso una vera comunicazione negli esperimenti, ma hanno solo permesso a due osservatori di poter osservare lo stesso evento simultaneamente (il che richiede sempre la presenza di un canale classico per il controllo). Nella meccanica quantistica standard è infatti generalmente accettato il fatto che il teorema di no-cloning quantistico prevenga la comunicazione superluminale via entanglement quantistico, il che produce come diretta conseguenza il teorema di non-comunicazione.^[18]

Alcuni fisici hanno tuttavia sottolineato che almeno alcuni degli argomenti su cui si basa il teorema di non-comunicazione sono tautologici, ponendo esso la limitazione relativa alla comunicazione superluminale nell'ipotesi di partenza.^[19]

Note

- ↑ Dieci modi per viaggiare più veloci della luce ⓘ Fantascienza.com (http://www.fantascienza.com/magazine/notizie/16479/dieci-modi-per-viaggiare-piu-veloci-della-luce/)
- ↑ (**EN**) *10 Sci-Fi Faster-Than-Light Systems* (http://www.popularmechanics.com/technology/digital/fact-vs-fiction/10-sci-fi-faster-than-light-systems-4#slide-1) su *Popular Mechanics*
- ↑ G. Bressi, G. Carugno, R. Onofrio, G. Ruoso, *Measurement of the Casimir Force between Parallel Metallic Surfaces* in *Phys. Rev. Lett.*, vol. 88, n° 4, Am Phys Soc, 2002, p. 041804, DOI:10.1103/PhysRevLett.88.041804.
- ↑ Charles H. Lineweaver and Tamara M. Davis, *Misconceptions about the Big Bang*, Scientific American, marzo 2005.
- ↑ Miguel Alcubierre, *The warp drive: hyper-fast travel within general relativity*, Institute of Physics, 1994.
- ↑ Dröscher, W., Häuser, J., *Physical Principles of Advanced Space Propulsion Based on Heim's Field Theory* in *AIAA Paper 2002-4094*.
- ↑ Gerald Feinberg, *Possibility of Faster-Than-Light Particles* in *Physical Review*, vol. 159, 1967, pp. 1089-1105.
- ↑ Template:Cite arxiv
- ↑ Adrian Cho, *Neutrinos Travel Faster Than Light, According to One Experiment* (http://news.sciencemag.org/sciencenow/2011/09/neutrinos-travel-faster-than-lig.html), Science NOW, 22 September 2011.
- ↑ Jason Palmer, *BBC News - Speed-of-light results under scrutiny at Cern*, Bbc.co.uk. URL consultato il 26 settembre 2011.
- ↑ Ian Sample, *Faster than light particles found, claim scientists* (http://www.guardian.co.uk/science/2011/sep/22/faster-than-light-particles-neutrinos), The Guardian, 22 settembre 2011.
- ↑ Tom Chivers, *Faster than light? Extraordinary claims require extraordinary evidence – Telegraph Blogs*, Blogs.telegraph.co.uk. URL consultato il 26 settembre 2011.
- ↑ Ben P. Stein, *Physicists Report Evidence of a Quicker-Than-Light Particle* (http://www.insidescience.org/current-affairs/physicists-report-evidence-of-a-quicker-than-light-particle) , Inside Science News, 23 September 2011.
- ↑ Robert Evans, *Faster than light particles may be physics revolution*, Reuters. URL consultato il 26 settembre 2011.
- ↑ Researchers catch 'faster-than-light' particles | Emerging Tech | ZDNet UK (http://www.zdnet.co.uk/news/emerging-tech/2011/09/23/researchers-catch-faster-than-light-particles-40094016/)[1] (http://www.newscientist.com/article/dn20957-dimensionhop-may-allow-neutrinos-to-cheat-light-speed.html)
- ↑ E. Cartlidge, *Breaking news: Error undoes faster-than-light neutrino results*, ScienceInsider, American Association for the Advancement of Science, 22 febbraio 2012. URL consultato il 22 febbraio 2012.
- ↑ (**EN**) Rappresentazione grafica di un'onda con velocità di fase superiore a c.

Estratto da "http://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Velocità_superluminale&oldid=69138873"

Categorie: Astronautica | Temi tipici della fantascienza | [altre]

- Questa pagina è stata modificata per l'ultima volta il 13 nov 2014 alle 12:10.
- Il testo è disponibile secondo la licenza Creative Commons Attribuzione-Condividi allo stesso modo; possono applicarsi condizioni ulteriori. Vedi le Condizioni d'uso per i dettagli. Wikipedia® è un marchio registrato della Wikimedia Foundation, Inc.